А. В. ОГИЕВСКИЙ

ГИДРОМЕТРИЯ
И ПРОИЗВОДСТВО ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

ОНТИ - НКТП - СССР
1 9 3 7

580517

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

Проф. А. В. ОГИЕВСКИЙ
ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ГИДРОМЕТРИЯ
И ПРОИЗВОДСТВО ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	По чьей вине
65	21 сверху	измерений	изменений	корр.
194	2 „	планкой, на конце которой	планкой на конце, которой	ред.
304	6 „	$= \frac{1}{10} p_1$;	$= \frac{1}{10^3} p_1$;	тип.
308	19 снизу	с 1-го	1-го	ред.

А. В. Огиевский, Гидрометрия

Цена 7 р.

ОБЪЕДИНЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
МОСКВА 1937 ЛЕНИНГРАД

ПРЕДИСЛОВИЕ КО 2-му ИЗДАНИЮ

Настоящее 2-е издание является по сути четвертой переработкой систематического курса гидрометрии, составленного и опубликованного автором еще в 1930 г. (на украинском языке, а несколько позже в сокращенном виде — на русском языке), т. е. тогда, когда систематические курсы гидрометрии в советской литературе были представлены всего лишь двумя книгами — литографированным курсом С. И. Коллупайло (Москва, 1918 г.) и весьма кратким курсом В. Н. Владычанского (Ташкент, 1924 г.). Первое издание этой книги получило достаточно высокую оценку и разошлось без остатка более двух лет назад.

Некоторые из предложенных нами тогда построений уже вошли в текущую гидрометрическую практику и литературу.

Настоящее издание переработано применительно к новейшим данным в области гидрометрических изучений, в том числе к некоторым исследованиям автора книги; в то же время по условиям издания эта книга значительно сокращена в своем объеме — почти на одну треть.

Наиболее значительной переработке подверглись такие, большей частью написанные заново, разделы: промерные работы, топографические работы, вертушки, раздел специальных измерений, раздел об установлении связи между уровнями и расходами при наличии льда, изучение наносов.

Сокращения выполнены так, чтобы ни в коей мере не нарушить целостности и полноты изложения по основным вопросам и приемам гидрометрических изучений; сокращениям, главным образом, подвергнуты: вступительные сведения, приборы для измерения скоростей (в части малоупотребительных и устаревших), определение расходов при помощи водосливов, вычисления стока. Далее вовсе выключены: раздел об изучении испарения с водной поверхности, понятия об измерении и обработках осадков, определение площади бассейна. При этом следует отметить, что последние из подвергнутых сокращению или выключению разделов в достаточно полном виде приведены в изданном автором в 1936 г. его курсе «Гидрологии» (Москва, 1936 г.).

Книга в ее теперешнем виде сохранила целиком ее прежний характер, а именно в ней имеется не только изложение принципов и содержания гидрометрических изучений на поверхностных водах суши, но и достаточно полно освещены вопросы самого производства гидрометриче-

ских работ, т. е. освещены вопросы, которым в иных курсах гидрометрии обычно не уделяется надлежащего внимания; весьма подробно рассмотрены также вопросы о построении зависимостей расходов от уровней, которые являются наиболее ответственными зависимостями, применяемыми в гидрометрии.

Прежний список литературы сокращен путем исключения устаревших работ и дополнен в части новейшей специальной литературы.

Надеемся, что предлагаемая книга в настоящем ее виде попрежнему окажется полезной не только как учебное пособие для студентов втузов и вузов, но и как достаточно полное руководство для производственников, работающих в области гидрометрии и гидрологии.

Считаю своим приятным долгом выразить здесь благодарность за ряд полезных замечаний профессору-доктору Е. В. Близняку, а за сообщение некоторых материалов И. К. Тихомирову и В. А. Троицкому.

Киев, 10/V 1937 г.

Проф. А. В. Огиевский
ДОКТОР ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Стр.

Предисловие . . . . . .

ОТДЕЛ ПЕРВЫЙ

СОДЕРЖАНИЕ ГИДРОМЕТРИИ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

Глава I. Вступительные сведения

§ 1. Понятие гидрометрии; связь с гидрологией 9
§ 2. Объекты изучения гидрометрии и ее применение . . . . . —
§ 3. Краткие исторические сведения. Гидрометрические работы в СССР 11

Глава II. Основные принципы организации гидрометрических работ

§ 4. Необходимость многолетних наблюдений за основными элементами 14
§ 5. Основной прием организации гидрометрических изучений 15
§ 6. Общие основания организации гидрометрических работ 16

ОТДЕЛ ВТОРОЙ

ПРОМЕРНЫЕ РАБОТЫ

Глава III. Промерные работы

§ 7. Цель промерных работ 18
§ 8. Приспособления для производства промеров . . . . . —
§ 9. Состав промерных работ и способы их выполнения 20
§ 10. Промеры по тросу или бичеве 22
§ 11. Промеры с засечками по створам 24
§ 12. Промеры по продольным профилям и косым галсам. 25
§ 13. Обработка промеров 26
§ 14. Особенности промерных работ на стоячих водоемах 27

ОТДЕЛ ТРЕТИЙ

УСТРОЙСТВО НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ

Глава IV. Основные данные по устройству наблюдательных пунктов

§ 15. Виды основных наблюдательных пунктов 29
§ 16. Принципы устройства водомерного поста 30
§ 17. Общие понятия о гидрометрическом створе 31
§ 18. Гидрометрические станции 32
§ 19. Основная сеть 33
§ 20. Выбор расположения наблюдательных пунктов . . . . . —
§ 21. Рекогносцировка и выбор места для основных наблюдательных пунктов 34
§ 22. Топографические работы 40

Глава V. Типы водомерных постов

§ 23. Подразделение простых постов 44
§ 24. Реечный пост . . . . . —
§ 25. Свайный пост 47
§ 26. Смешанные и мостовые посты 49
§ 27. Передаточные посты . . . . . —
§ 28. Автоматические устройства для регистрации крайних уровней 50
§ 29. Самопишущие посты (лимнографы) 51
§ 30. Выбор типа поста 56
§ 31. Приспособления для уточнения отсчетов 58

Глава VI. Реперы

§ 32. Общие требования к реперам и виды последних 59
§ 33. Постоянные реперы 60
§ 34. Реперные марки и потайные реперы 61
§ 35. Временные реперы . . . . . —

Стр.

Глава VII. Постановка и организация наблюдений на постах

§ 36. Составление технического списка. Контрольный журнал 62
§ 37. Постановка наблюдений 63
§ 38. Уход за постом 65
§ 39. Производство наблюдений в период отсутствия льда 66
§ 40. Производство наблюдений за ледовыми явлениями 68
§ 41. Формы записей 72
§ 42. Поверка поста 73
§ 43. Ремонт и перенос поста 74

Глава VIII. Обработка уровней и сопутствующих им явлений

§ 44. Общий порядок обработок 75
§ 45. Первичная обработка и поверка уровней . . . . . —
§ 46. Основные обработки для года и для многолетия 78
§ 47. Повторяемость и продолжительность 80
§ 48. Статистические характеристики 82
§ 49. Типовой график распределения уровней в году 85
§ 50. Обработка явлений, сопутствующих изменениям уровней 86
§ 51. Кривые связи соответственных уровней 88

Глава IX. Устройство гидрометрического створа

§ 52. Выбор направления створа и его закрепление 91
§ 53. Оборудование створа 94
§ 54. Содержание створа 98

ОТДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

Глава X. Скорости течения в открытом русле

§ 55. Цели измерения скоростей. Общий характер течения в реках 99
§ 56. Скорости в точке. Пульсация . . . . . —
§ 57. Скорости на вертикалях 101
§ 58. Вычисление средней скорости на вертикали 103
§ 59. Эпюры скоростей. Изотахи 108
§ 60. Приемы и приборы для измерения скоростей 109

Глава XI. Поплавки

§ 61. Поверхностные поплавки 110
§ 62. Глубинные поплавки . . . . . —
§ 63. Гидрометрический шест 111
§ 64. Поплавки-интеграторы 112

Глава XII. Вертушки

§ 65. Принципы устройства и работы вертушек 113
§ 66. Части вертушек 114
§ 67. Опускание вертушек на штанге и на тросе 119
§ 68. Типы вертушек 127
§ 69. Характеристики вертушек и их работы; требования к ним . . . . . —
§ 70. Описание некоторых вертушек 131
§ 71. Приборы для измерения направления струй 138
§ 72. Принадлежности оборудования вертушек 143
§ 73. Содержание вертушек с принадлежностями и поверка их 147

Глава XIII. Тарировка вертушек

§ 74. Сущность тарировки 149
§ 75. Тарировочные бассейны 151
§ 76. Тарировка в полевой обстановке 153
§ 77. Эталонирование вертушек 155
§ 78. Обработка данных тарировки 156
§ 79. Пользование тарировкой 162

Глава XIV. Батометры и динамометры

§ 80. Батометр-тахиметр 163
§ 81. Трубки Пито-Дарси и Амслера 165

Стр.

ОТДЕЛ ПЯТЫЙ

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДОВ И НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Глава XV. Способы определения расходов

§ 82. Модель расхода 168
§ 83. Способы определения расходов 169
§ 84. Организация изучения расходов 171

Глава XVI. Определение расходов при помощи поплавков

§ 85. Общая характеристика поплавочных измерений 172
§ 86. Подготовительные работы 173
§ 87. Измерение скоростей 175
§ 88. Обработка полевых данных 178
§ 89. Особенности измерений гидрошестами и интеграторами 181

Глава XVII. Определение расходов при помощи вертушек

§ 90. Содержание и организация работ 182
§ 91. Подготовительные работы 183
§ 92. Назначение числа скоростных вертикалей 184
§ 93. Обозначение вертикалей 185
§ 94. Способы измерения скоростей на вертикалях 187
§ 95. Продолжительность наблюдений в точках 189
§ 96. Общий порядок измерений скоростей 190
§ 97. Порядок записей 191
§ 98. Особые случаи измерений 193
§ 99. Измерение скоростей батометрами и гидрометрическими трубками 195

Глава XVIII. Обработка вертушечных измерений

§ 100. Общий порядок обработки 196
§ 101. Обработка глубин и скоростей в точках 197
§ 102. Вычисление расхода графоаналитическим способом 198
§ 103. Вычисление расхода графомеханическим способом 202
§ 104. Упрощенные аналитические способы 203
§ 105. Вычисление расхода по изотахам (метод Кульмана) 205
§ 106. Приведение расхода к расчетному уровню 207
§ 107. Вычисление дополнительных характеристик измерений расходов 211

Глава XIX. Определение расходов способами: гидравлическим, смешения и объемным

§ 108. Применение теории водосливов к измерению расходов 213
§ 109. Водяные дюймы и модули 215
§ 110. Определение расхода по уклону и живому сечению 217
§ 111. Способ смешения 222
§ 112. Объемный способ 227

Глава XX. Некоторые специальные измерения

§ 113. Измерения направления струй 227
§ 114. Измерения расходов шуги и льда; фильтрация в зажорах 232
§ 115. Изучение коэфициентов шероховатости 233

ОТДЕЛ ШЕСТОЙ

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ РАСХОДОВ И ВЫЧИСЛЕНИЕ СТОКА

Глава XXI. Построение кривых расходов при отсутствии льда

§ 116. Материалы и порядок построения 235
§ 117. Анализ основных данных 238
§ 118. Построение однозначной связи расходов с уровнями 241
§ 119. Составление расчетной таблицы и поверка найденной зависимости 243
§ 120. Экстраполяционные вычисления 244
§ 121. Нахождения аналитических выражений для кривых расхода 247
§ 122. Случай резких изменений уклонов при подъемах и спадах 254
§ 123. Связь расходов с уровнями при переменном русле. 255
§ 124. Связь расходов с уровнями при переменном подпоре 262
§ 125. Кривые расхода для заболоченных рек 264

Глава XXII. Связь между уровнями и расходами при наличии льда

§ 126. Общие условия прохождения расходов при наличии льда 268
§ 127. Характеристики влияния льда на ход уровней 269
§ 128. Различные случаи вычисления зимних расходов 271

Стр.

§ 129. Способы для интерполяционных вычислений зимних расходов 273
§ 130. Гидрометеорологический способ автора 274
§ 131. Иные способы вычисления зимних расходов 285
§ 132. Упрощенные приемы вычисления зимних расходов 287
§ 133. Особые случаи при наличии льда 288

Глава XXIII. Вычисление стока

§ 134. Вычисление секундного стока 290
§ 135. Ошибки вычислений и точность их 292
§ 136. Вычисление характеристик стока 294
§ 137. Обработки расходов 296
§ 138. Перенос кривой расхода из одного сечения в другое 297

ОТДЕЛ СЕДЬМОЙ

ИЗУЧЕНИЕ НАНОСОВ

Глава XXIV. Наносы, взвешенные и растворенные

§ 139. Наносы и направление их изучения 298
§ 140. Приборы для учета взвешенных и растворенных наносов 300
§ 141. Приемы для учета взвешенных наносов 303
§ 142. Детальный учет 305
§ 143. Суммарный и одноточечный учет 307
§ 144. Вычисления стока взвешенных наносов 309
§ 145. Учет растворенных наносов 311
§ 146. Изучение распределения и перемещения наносов 312

Глава XXV. Донные наносы

§ 147. Приборы для учета донных наносов 315
§ 148. Учет донных наносов 320
§ 149. Изучение деформации русла и его грунтов 321
§ 150. Понятие о механическом анализе 323
§ 151. О путях усовершенствования гидрометрических изучений 325

Приложения

1. Таблица к формуле кривой подпора Дюпюи-Рюльмана 327
2. Форма технического списка водомерного поста 328
3. Форма бланка для измерения расходов воды поплавками 331
4. Форма полевого журнала измерения расхода воды вертушкой 333
5. Таблица поправок на снос троса диаметром 5 *мм* при каплевидном грузе 335
Извлечение из списка литературы к I изданию 336
Дополнительный список использованной литературы (для 2 изд.) 337
Именной указатель 338
Предметный указатель 340

ОТДЕЛ ПЕРВЫЙ

СОДЕРЖАНИЕ ГИДРОМЕТРИИ И ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

ГЛАВА I

ВСТУПИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

§ 1. Понятие гидрометрии; связь с гидрологией

Гидрометрия (измерение воды) в самом обширном толковании этого термина, имеет своим предметом изучение методов количественного учета различных элементов, характеризующих режим вод (т. е. их поведение, жизнь), находящихся как на поверхности земного шара, так и в его недрах и, наконец, в воздушной оболочке земли.

Вместе с гидрографией, содержание которой состоит в описании внешних характеристик водных объектов (геометрических и морфометрических), гидрометрия является частью обширной науки о режиме вод, носящей название гидрологии.

Гидрологию обычно делят на ряд разделов применительно к различным видам водных объектов: 1) гидрология морей и океанов (океанология); 2) гидрология рек (потамология); 3) гидрология озер (лимнология); 4) гидрология ледников (гляциология); 5) гидрология подземных вод (гидрогеология); 6) гидрология атмосферных вод (гидрометеорология).

В понятие гидрометрии в его широком понимании, как указывалось, должны были бы входить методы измерения различных элементов во всех вышеуказанных водных объектах. Практически же в отдельный курс гидрометрии выделяют обычно лишь гидрометрию поверхностных водных потоков и водоемов суши, так как методы измерений для морей и океанов, ледников, подземных и атмосферных вод, существенно отличаясь от методов измерений на потоках и водоемах суши, составляют обычно содержание соответствующих разделов в особых курсах, посвященных указанным выше водным объектам.

Настоящее изложение имеет в виду только гидрометрию поверхностных вод суши; при этом в рассмотрение не включена гидрометрия крупных озер и приливных устьевых участков рек, поскольку методы изучения последних стоят ближе к методам морских гидрометрических работ.

§ 2. Объекты изучения гидрометрии и ее применение

Главными характеристиками, количественно и качественно определяющими режим водных потоков, можно считать:

1) расход воды Q, т. е. количество воды, протекающее через поперечное сечение русла реки в единицу времени; главными компонентами характеристик расхода являются: а) живое сечение русла реки, т. е. та часть поперечного сечения русла (нормального к направлению течения), которая заполнена текущей водой и ограничена сверху уровнем воды; б) скорости течения воды, зависящие от уклонов поверхности воды и характеристик русла (глубины, ширины, шероховатости и пр.);

2) высоту стояния уровня воды, зависящую от величины расхода, характеристик русла реки и уклона;

3) твердый расход, т. е. количество проносимых водой реки растворенных, взвешенных и влекомых по дну веществ;

4) физические характеристики: температурный режим, испарение воды, ледообразование, цвет, прозрачность, запах и вкус воды;

5) химические характеристики (жесткость, соленость, кислотность, содержание различных химических соединений и растворенных газов);

6) гидробиологические и санитарно-технические характеристики (растительность, животные организмы, бактерии).

Главными характеристиками, количественно определяющими режим стоячих водоемов поверхности суши, можно считать:

1) объем воды W, определяемый размерами чаши водоема;

2) баланс прихода и расхода воды, связанный с изменчивостью притока, стока и испарения.

3) высота стояния уровней воды, зависящая от объемов воды;

4) физические и химические характеристики;

5) гидробиологические и санитарно-технические характеристики.

Гидробиологические и санитарно-технические характеристики рек и стоячих водоемов изучаются по методам гидробиологии и бактериологии; изучение химических характеристик, осуществляемое методами гидрохимии, иногда включается в круг гидрометрических исследований. Ряд геометрических элементов изучается по методам и правилам геодезии. Остальные характеристики и их компоненты изучаются методами гидрометрии.

Все элементы водных потоков, изучаемые гидрометрией, отличаются большей или меньшей изменчивостью: постоянно меняются расходы воды в реке, уровни воды, уклоны, скорости течения, твердые расходы; физические и химические характеристики реки и элементы сечений русла. Отличается изменчивостью также и ряд элементов, характеризующих стоячие водоемы.

Поскольку изменчивость главных характеристик водных потоков в большинстве случаев определяется изменчивостью расходов или уровней, то расходы и уровни можно считать основными характеристиками потоков.

Применительно к выделенным выше главным характеристикам режима водных потоков, гидрометрические изучения можно расчленить на следующие группы:

1. Изучение расходов, которые служат для оценки водоносности или стока реки.

2. Изучение уровней или водомерные наблюдения. Нередко с этими наблюдениями соединяют изучение ряда физических характеристик и обстановки наблюдений (ледообразования, температуры воды и воздуха, ветра и погоды у места наблюдений).

3. Специальное изучение отдельных гидравлических элементов: изучение уклонов; характера течения, его направления и скорости; расходов льда; изучение характеристик русла, его шероховатости и деформаций.

4. Изучение твердых расходов, с которыми обычно связывают изучение и химического состава воды; так как эти изучения обычно осуществляются при помощи специальных приборов, носящих название батометров, то такого рода изучения можно назвать батометрическими.

Приведенные указания о направлении гидрометрических изучений показывают, что область применения гидрометрии весьма широка. Вместе с гидрографическими описаниями, гидрометрия является базой для обобщающих выводов гидрологии, а отсюда базой для рационального решения самых разнообразных вопросов инженерного использования вод и вопросов водного хозяйства: мелиорации, гидроэнергетики, водного транспорта, лесосплава, водоснабжения, сельского и городского благоустройства, вопросов проектирования и возведения разного рода гидротехнических сооружений.

В обобщающих гидрологических построениях и в различных проектировках по водному строительству имеют особенно широкое применение основные характеристики режима вод — расходы и уровни.

§ 3. Краткие исторические сведения. Гидрометрические работы в СССР

Возникновение гидрометрии относится к древнейшим временам человеческой культуры.

В Египте, стране высокой древней сельскохозяйственной культуры, правильные наблюдения за уровнями воды в р. Ниле были организованы еще при фараонах; об этом свидетельствуют древние, так называемые нилометры, найденные французской экспедицией в Египте при Наполеоне и относимые к периоду около 4 тыс. лет назад.

Ниломеры были устроены при храмах в виде особых колодцев или галлерей, которые сообщались с рекой подземными ходами со ступенями, ведущими к реке; на стенах этих галлерей обнаружены были метки, представляющие прообраз теперешних водомерных записей.

Средние века оставили нам многочисленные метки исключительно высоких или низких горизонтов, рек и озер в виде насечек на камнях в русле реки, на зданиях, надписей на них и особых таблиц.

Установлено, что еще в то время применялись различного рода водомерные устройства для того или иного распределения воды в оросительных системах северной Италии, Мервского оазиса в Закаспийском крае и др.

К эпохе Возрождения относятся попытки изучить механизм движения воды для измерения скоростей течения; тогда же конструируются первые приборы для этой цели.

В 1727 г. появилось первое описание прототипа современной гидрометрической вертушки; в 1790 г. гамбургский гидротехник Вольтман сконструировал более совершенный тип, впоследствии усовершенствованный Амслером, Гарляхером и др. и ставший наиболее распространенным гидрометрическим прибором.

Первые обширные гидрометрические работы были выполнены в 50-х годах прошлого столетия Гемфрисом и Абботом на р. Миссисипи (опубликованы в 1861 г. в Филадельфии). Работы проф. Гарляхера на Эльбе и Дунае в 80-х годах прошлого столетия послужили прочным началом блестящего развития гидрометрии.

Систематические водомерные наблюдения организованы в Западной Европе с середины прошлого столетия. Превосходно поставленные гидрометрические службы возникли в ряде стран в связи с борьбой с наводнениями — во Франции, Австрии и Венгрии; в связи с развитием использования водной энергии — в Швейцарии, Баварии, Швеции и южной Франции; в связи с мелиорацией — в Соединенных штатах и Италии; в связи с развитием водных путей — в Германии и т. д.

В СССР систематические водомерные наблюдения начались с 1875 г., когда при департаменте шоссейных и водных сообщений б. министерства путей сообщения была организована особая навигационно-описная комиссия, действовавшая около 10 лет и положившая начало планомерному изучению русских рек; целый ряд исследований проделан ее описными партиями. Этой комиссией было основано до 500 водомерных постов.

Старейшие водомерные посты в СССР относятся еще к 50-м годам прошлого столетия [1], но данные их до конца 70-х годов по большей части не сравнимы с позднейшими. Регулярные наблюдения начинаются с конца 1876 г.

В 1912 г. работы по гидрометрическому изучению судоходных рек были переданы в Бюро изысканий водных путей управления внутренних водных путей б. министерства путей сообщения; этим органом была создана постоянная гидрометрическая организация для изучения судоходных рек России.

Посты министерства путей сообщения делились на 2 разряда: I разряда, действующие круглый год, и II разряда, на которых наблюдения производились только во время навигации. К 1917 г. число водомерных постов б. министерства путей сообщения дошло до 645.

---

[1] Из старейших наблюдений на реках можно указать: на Днепре у Кременчуга с 1859 по 1869 г. (см. «Труды Общества исследователей природы при Харьковском университете», 1870 г., т. II); в Киеве — с 1860 г.; в с. Лоцманской Каменке — с 1852 г.

Начиная с 1909 г. начали развертываться работы по определению расходов рек. Результаты исследований рек б. министерства путей сообщения печатались в «Материалах для описания русских рек и улучшения их судоходных условий» (издано 74 выпуска) и других изданиях. Обработанные наблюдения водомерных постов были изданы в 10 томах [1] под названием: «Сведения об уровне на внутренних водных путях России по наблюдениям на водомерных постах»; в этих изданиях охвачен период 1881—1910 гг. Эти данные и до сего времени представляют наиценнейший материал, охватывающий весьма значительное число рек с их притоками.

Можно отметить, что гидрометрические работы по линии б. министерства путей сообщения имели резко выраженный ведомственный характер; поэтому ряд изучений, интересных с точки зрения не только судоходства или сплава, а и других отраслей народного хозяйства, в этих работах надлежащего освещения не получал.

Наряду с гидрометрическими работами б. министерства путей сообщения развитие подобных работ шло и по другой линии — по министерству земледелия и госимуществ.

В этом направлении начало гидрометрическим работам было положено «Западной экспедицией по осушению болот» Жилинского, обследовавшей в период 1873—1898 гг., т. е. в течение 25 лет, Полесье и бассейн р. Припяти. С 1880 по 1903 г. был проведен ряд специальных экспедиций, выполнивших ценные метеорологические и гидрометрические исследования в ряде районов.

В 1910 г. отделом земельных улучшений Главного управления земледелия и землеустройства, главным образом, в связи с нуждами мелиорации были созданы две специальные гидрометрические части — в Туркестане и на Кавказе.

Труды обеих гидрометрических частей до 1915 г. напечатаны в их годовых отчетах и содержат помимо данных наблюдений весьма богатый теоретический и инструктивный материал; кроме наблюдений над уровнями и измерениями расходов здесь уделялось большое внимание изучению наносов и их состава, температуры, химического состава вод, испарения, а также изучению осадков и пр.

В 1913 г. была учреждена гидрометрическая часть Европейской России, занявшаяся изучением, главным образом, несудоходных рек, которые не были освещены водомерными постами министерства путей сообщения. К 1917 г. сеть ее достигла 374 водомерных постов, охвативших 182 реки.

После 1917 г., приблизительно до 1920 г., в связи с гражданской войной имело место полное прекращение исследовательских работ по рекам и, в частности, гидрометрических работ. Число водомерных постов резко сократилось (например, по Туркестану — к 1922 г. — до 21 пункта, по Европейской части на несудоходных реках — до 88).

Возобновление и дальнейшее развертывание гидрометрических работ и речных исследований постепенно имели место в период 1923—1927 гг. Если общее число водомерных постов в 1924 г. составляло 1 300 постов, то в 1927 г. — их имелось уже около 2 тыс.

В 1934 г. по данным Государственного гидрологического института общее число учтенных постов и станций по всей территории Союза составляло около 4 тыс.

В отличие от ведомственных целей дореволюционных изучений, в настоящее время гидрометрические работы и исследования рек имеют своим заданием дать базу для удовлетворения хозяйственных потребностей страны в их комплексной, наиболее рациональной и наиболее широкой постановке. В частности, ряд весьма крупных исследований и работ был выполнен и выполняется сейчас в связи с вопросами утилизации водной энергии и реконструкции водных путей с удовлетворением ряда иных потребностей. Таковы исследования на Волхове, Свири, Днепре, Волге, Ангаре, Чу и др. Капитальные гидрометрические и гидрологические работы появились по Волхову (под ред. инж. В. М. Родевича), Днепру (проф. И. Г. Александрова и проф. А. В. Огиевского) и др.

[1] Бассейны Балтийского и Белого морей — т. I, IV и VIII; Каспийского моря — т. II, V и IX, Черного и Азовского морей — т. III, VI и X и Северного ледовитого и Тихого океанов — т. VII. Каждый том состоит из двух выпусков — текст и атлас чертежей (графиков уровней).

В этих работах впервые были даны широкие обобщающие обработки всех накопленных гидрометрических материалов, всесторонне освещающие режим названных рек с полнотой, в ряде случаев превосходящей подобного же рода исследования за границей. В этих же работах получил новое освещение ряд сложных методических вопросов гидрометрических изучений, к которым можно отнести вопросы методов измерения расходов рек при различных условиях, зависимости для исчисления расходов, установление точности гидрометрических работ и др.

В послереволюционное время впервые у нас были широко поставлены вопросы исследования зимнего режима рек и особенностей пропуска рекою расходов при наличии льда: уже сейчас имеется у нас по этим вопросам оригинальная литература, с рядом новых и эффективных решений. В результате подобного рода исследований создается даже новая отрасль изучений — ледотехника.

Только лишь в послереволюционное же время у нас достаточно широко начали заниматься вопросами изучения твердых расходов водных потоков; до 1917 г. этого рода изучения в ограниченных размерах велись лишь в Туркестане и в Закавказье.

Наконец, в послереволюционное время широко развернулись у нас изучения испарения с водной поверхности; организованы широкие натурные наблюдения, появился ряд специальных монографий и руководств.

В 1929 г. для объединения всех работ как гидрометрических, так и гидрологических, а также работ по метеорологии и геофизике, был учрежден Гидрометеорологический комитет (ГМК) при СНК СССР, с республиканскими ГМК в отдельных республиках; этот ГМК был реорганизован затем (в 1934 г.) в Центральное управление единой гидрометеорологической службы (ЦУЕГМС) при НКЗ СССР с республиканскими УЕГМС по отдельным республикам.

В 1932 г. постановлением правительства в составе ГМС было организовано Бюро водного кадастра (БВК), на которое было возложено приведение в единую систему всех накопленных гидрометрических и гидрологических материалов, дополнение их новыми исследованиями и составление полных характеристик всех водных ресурсов страны. В качестве предварительного материала было предписано составить и выпустить в свет так называемые «Гидрологические справочники» по отдельным республикам и областям, часть которых уже сейчас вышла из печати.

В ноябре 1936 г. опубликовано постановление об организации вместо ЦУЕГМС Главного управления гидрометеорологической службы СССР (ГУГМС) при СНК СССР; это управление осуществляет руководство гидрометеорологическими работами через управления отдельных областей, подчиненные непосредственно Главному управлению.

Гидрометрические исследования в настоящее время ведутся не только по линии ГУГМС, но и рядом водохозяйственных проектирующих и строительных организаций для их специальных целей, а также рядом научно-исследовательских институтов.

Научно-исследовательские институты, занимающиеся вопросами гидрометрии, возникли в СССР также только после Октябрьской революции.

Первым таким институтом является Государственный гидрологический институт (ГГИ) в Ленинграде, основанный в 1919 г. и входящий сейчас в систему ГУГМС как центральный научно-исследовательский орган ГУГМС.

Этим Институтом выпущен из печати ряд практических инструкций по гидрометрическим работам и ведется разработка ряда методических вопросов гидрометрических исследований. Еще в 1931 г. ГГИ выпущена в печати часть сведений об уровнях по наблюдениям на водомерных постах России за 1911—1915 гг. (бассейны Черного и Азовского морей), являющихся продолжением ранее изданных б. Министерством путей сообщения.

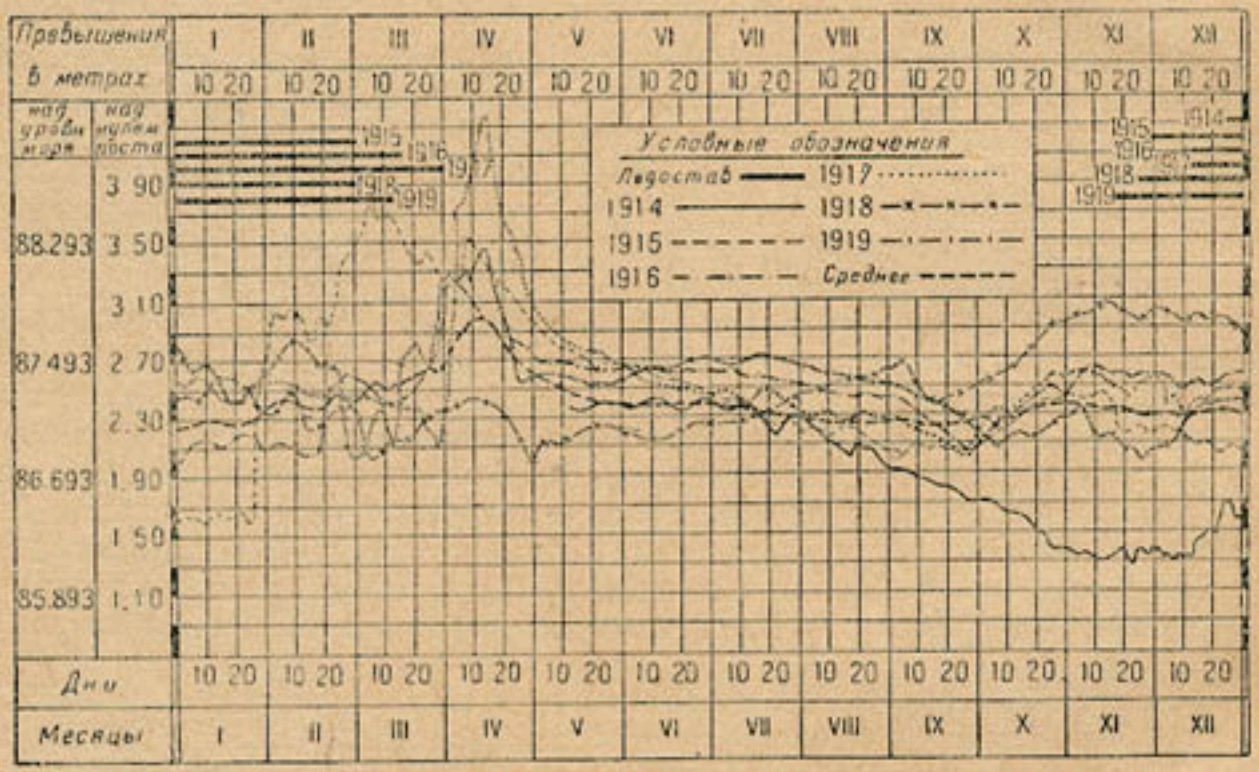
Кроме ГГИ вопросами гидрометрии занимается ряд учреждений и институтов, как, например, трест Гидроэнергопроект, Институт водного хозяйства Академии наук УССР, опубликовавшие ряд методических исследований и инструктивных материалов, некоторые институты НКПС, НКТП и НКЗ.

ГЛАВА II

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ РАБОТ

§ 4. Необходимость многолетних наблюдений за основными элементами

Как указывалось, основные элементы рек и водоемов, характеризующие их режим, подвержены непрерывным колебаниям; характер этих колебаний чрезвычайно сложный и следует неустойчивым и неизвестным до сего времени законам. В годовой смене уровней какой-либо реки у какого-либо определенного пункта можно обычно выделить периоды повышений и понижений, связанных с климатическими особенностями данной страны; так, для рек европейской части СССР весной почти всегда (за весьма редкими исключениями) имеют место весенние подъемы воды, во время которых уровни достигают своего годового максимума; в конце лета или вернее в начале осени наступают наиболее низкие за год уровни; однако высоты весенних максимумов и летних минимумов в разные годы различны.



Фиг. 1. График колебаний уровней р. Сулы у г. Лубен за 1914—1919 гг.

Для примера на фиг. 1 даны графики колебаний уровней р. Сулы (притока р. Днепра) у г. Лубен за ряд лет. Из этого чертежа видно, в каких широких пределах возможны изменения горизонтов на протяжении ряда лет даже в условиях такой относительно спокойной реки, как р. Сула.

Имеющие место в различные годы различные колебания уровней и расходов никогда не повторяются совершенно точно.

Таким образом для целей практики приходится выводить различные с р е д н и е, н а и в ы с ш и е и н а и н и з ш и е из непрерывных колебаний такого рода элементов, а также другие характеристики их изменчивости во времени и по величине. Понятно поэтому, что, чем длиннее ряд наблюдений, тем более устойчивые средние характеристики можно из него получить и тем вероятнее, что наблюденные крайние величины — максимумы и минимумы — соответствуют возможным крайним значениям изучаемых величин.

Распределение и ход колебаний количества воды в потоках и водоемах находятся в тесной зависимости от хода климатических элементов данного района. Поэтому обычно за периоды, достаточные для вывода устойчивых характеристик режима водотоков, принимают те, которые совпадают с установленными климатологией циклами колебаний климата. Таковыми сейчас считаются по данным немецкого ученого проф. Брюкнер приблизительные 35-летние циклы колебаний

климата и влажности на земле; на полный брюкнеровский период приходится ряд сухих и теплых годов, а также ряд годов влажных и холодных, с одним максимумом и одним минимумом. Исследования ряда других ученых выдвигают предположение о наличии цикличности в 11 лет, стоящей в тесной связи с периодическими изменениями размеров солнечных пятен на солнце.

Однако даже эти сравнительно длинные периоды не могут совершенно гарантировать бесспорность результатов; можно допускать возможность существования и других циклов с иной, более длительной амплитудой колебаний. Поэтому в целях конкретного суждения о водоносности рек желательны и особенно ценны наиболее продолжительные и непрерывные наблюдения. Такого рода наблюдения выполняются на постоянных опорных пунктах изучений.

Для непосредственных целей практики весьма часто приходится ограничиваться более или менее коротким сроком изучений гидрометрических элементов (15—20 лет) и даже периодами в несколько лет; эти изучения выполняются на дополнительных или временных пунктах наблюдений.

В последнем случае результаты таких наблюдений получают лучшее практическое применение при сопоставлении их или с более долголетними водомерными наблюдениями на постоянных пунктах, расположенных в аналогичных условиях, или при увязке их данных с метеорологическими наблюдениями, которые ведутся у нас во многих местах, начиная с 80-х годов прошлого столетия. Во многих случаях полезна в указанном отношении обработка материалов наблюдений по специальным приемам (математической статистики).

Практика выработала также ряд приемов, дающих возможность находить, — правда, приближенно — примерные характеристики водного режима водотока на основании еще меньшего ряда наблюдений, включительно до односезонных изысканий; однако ценность таких расчетов может быть зачастую весьма проблематичной.

Таким образом основной характер изучаемых гидрометрией объектов таков, что требует для вполне обоснованных выводов прежде всего наблюдений непрерывных и весьма длительных.

§ 5. Основной прием организации гидрометрических изучений

Из всех гидрометрических изучений водомерные наблюдения наиболее просты по методам и необходимому для их производства оборудованию. Они не требуют большого уменья и особой квалификации, отчего и обходятся недорого.

Пункты, устраиваемые для производства водомерных наблюдений, носят название водомерных постов.

Составленные по данным водомерных постов графические изображения непрерывного хода уровней носят название графиков уровней; фиг. 1 дает примеры годовых графиков уровней для р. Сулы у г. Лубны.

Для измерения скоростей и расходов нужны особые приборы, которые могут быть и простыми, и довольно сложными и дорогими, а также нужно особое оборудование; эти измерения для успешных результатов требуют более серьезных познаний и специальной подготовки, а также штата рабочих, поэтому они обходятся значительно дороже первых.

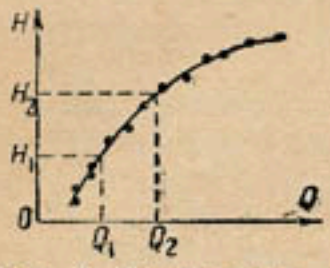
Пункты на водотоках, оборудованные для производства измерений расходов, носят название гидрометрических створов.

Ввиду практической невозможности непосредственного непрерывного измерения расходов реки изо дня в день, практика выработала для учета водоносности приближенный косвенный метод определения количеств протекающей воды; метод этот основан на возможности, в большинстве имеющихся случаев при некоторых благоприятных условиях, устанавливать непосредственную связь между величиной расхода воды Q и высотой уровня воды H в том же месте. Такая зависимость в виде уравнения

$$Q = f(H),$$

выраженная графически, носит название кривой зависимости расходов от уровней, или сокращенно кривой расходов (фиг. 2). Кривые расходов (для данного

пункта реки) строят на основании ряда измеренных в разные периоды расходов; имея кривую расходов, можно вычислить количество воды, протекающей в данном сечении реки, для любого дня; для этого нужно только иметь уровни воды для того же дня.



Фиг. 2. Кривая зависимости расходов от уровней.

Но помимо упрощения вычислений расходов, изучение уровней дает также те непрерывные характеристики изменчивости режима водного объекта, с которыми удобно связывать результаты изучения и иных сторон режима (например, перемещение наносов, изменение уклонов, изменение скоростей и их направления и пр.); поэтому наблюдения за колебаниями уровней приобретают особое значение и являются в гидрометрии основным приемом изучения режима водных объектов.

§ 6. Общие основания организации гидрометрических работ

Водомерные наблюдения измерения расходов и другие гидрометрические изучения должны быть организованы так, чтобы при этом учитывались нижеследующие обстоятельства:

1) цель изучений;

2) предположенная или возможная продолжительность их;

3) характер изучаемых объектов, а именно типовой режим уровней и расходов;

4) особенности строения русла.

1. Цели изучения обусловливают в первую очередь объем, направление и характер изучений.

В ряду возможных целей гидрометрических изучений одни требуют знания, главным образом, хода изменений уровней и только некоторых характеристик расходов (например, городское и сельское благоустройство, осушительные работы), другие, наоборот, требуют знания расходов или стока рек непрерывно — за возможно более длительный промежуток времени (например, использование энергии водотоков, выработка расчетных норм стока).

По ряду вопросов могут иметь особое значение те изучения, которые относятся к определенным сезонам года, как например, для эксплоатации водотоков как путей сообщения — период навигации, для орошения и осушения — период вегетации.

Наконец, в ряде случаев важно иметь исчерпывающие данные о влекомых наносах и составе воды (орошение), о распределении скоростей (гидротехнические сооружения), о конфигурации и свойствах русла (регулирование) и т. д.

2. Предположенная или возможная продолжительность изучений определяет конструкцию основных устройств — более солидную и долговечную или рассчитанную на существование только в продолжение сезона (например, пункты, при речных изысканиях). Предположенная продолжительность изучений иной раз может влиять также и на приемы выполнения отдельных работ.

3. В отношении типового режима уровней и расходов можно выделить, например, такие основные случаи: 1) реки равнинные — с различными величинами их водосборной площади — большие, средние и малые; для больших рек характерны сравнительно плавные изменения уровней, для малых — эти изменения более резки, 2) реки озерные и реки заболоченные с плавным изменением уровней и расходов; 3) горные реки, берущие начало из ледников или вечных снегов; этим рекам свойственны весьма сложные колебания уровней и расходов с резко выраженными суточными их изменениями.

Особый режим имеет нижнее течение весьма больших рек; тут обычно наблюдается весьма сглаженный ход уровней, осложняемый сгонным и нагонным действием ветров, а для рек, впадающих в приливные моря, еще и приливо-отливными явлениями.

В ряде случаев естественный режим уровней и расходов может значительно изменяться искусственными мероприятиями по забору или отводу воды или сооружениями, возведенными в реке.

4. В отношении свойств и строения русла можно выделить реки:
а) с неизменным дном;
б) с руслом, которое меняется периодически;
в) с постоянно изменяющимся руслом.

Неизменное дно имеют реки или участки рек с каменистым руслом или с руслом из плотных глинистых и песчанистых пород (при быстром течении или некоторые реки равнинного типа), а также реки с руслом мелкогалечным или песчаным, если скорости течения незначительны.

Периодические изменения русла свойственны рекам, протекающим в сравнительно устойчивых песчаных руслах, после прохода высоких паводочных вод или вод весеннего половодья.

Постоянно изменяющееся русло имеют реки, имеющие значительные скорости и протекающие в весьма легко размываемых наносных или лессовидных грунтах (низовья р. Кубани, Аму-Дарья).

Изменчивость русла вызывает изменения в соотношениях расходов и уровней; поэтому на реках с изменчивым руслом необходимы, вообще говоря, систематические ежегодные измерения расходов, в то время как для рек с неизменным руслом, т. е. для которых зависимость $Q = f(H)$ имеет устойчивый характер, такого рода измерения излишни.

Соотношения между изменениями уровней и изменениями расходов могут нарушаться также иными причинами: наличием переменного подпора от искусственных сооружений или от реки, в которую впадает данная река, развитием в реке водной растительности, появлением и наличием льда. В этих случаях необходимы особые мероприятия при организации гидрометрических изучений, которые будут рассмотрены далее.

Необходимо подчеркнуть, что указанные выше причины, изменяющие уровни независимо от изменений расходов и этим затрудняющие установление связи между уровнями и расходами, должны быть выявлены и установлены обязательно с самого начала организации работ. Учет факторов, вызывающих искажение уровней, осуществляемый путем постановки последующих наблюдений, разрешает задачу о применении к вычислению расходов накопленных данных по уровням лишь в некоторых редких благоприятных случаях. Поэтому все указанные факторы при организации гидрометрических работ и необходимо иметь в виду в самом их начале.

Понятно, что условия гидрометрических измерений могут быть различными для одной и той же реки, но в разные периоды года. Так, например, приборы и оборудование, а также и приемы работ для измерения глубин и скоростей, удобные и рациональные при средней воде, могут быть совершенно неприменимы при очень высокой воде или, наоборот, при очень малой воде.

Следует отметить, что, хотя гидрометрические измерения имеют значительную давность, но приемы работ при их выполнении нуждаются в значительном усовершенствовании. Поэтому имеется еще обширное поле деятельности для их рационализации и для внедрения в практику стахановских методов работы — этого нового высшего этапа социалистического соревнования.

В нижеследующем изложении гидрометрические изучения будут рассмотрены применительно к выделенным ранее (см. § 2) основным группам в таких направлениях: а) возможные к применению оборудование и приборы; б) способы их применения; в) выполнения работ; г) обработки результатов измерений.

Рассмотрение гидрометрических работ целесообразно начинать с изложения работ по промерам глубин, поскольку этого рода работы являются составной частью почти всех других гидрометрических изучений.

ГЛАВА III

ПРОМЕРНЫЕ РАБОТЫ

§ 7. Цель промерных работ

Промерные работы, или работы по измерению глубин, являются весьма важной частью большинства гидрометрических работ, в весьма сильной степени влияющей на конечные результаты ряда измерений.

Чаще всего целью производства промеров могут быть следующие задачи:

1) обследование участка реки в целях выбора местоположения водомерного поста или гидрометрических створов;

2) построение профилей поперечного сечения русла реки;

3) съемка речного русла для выяснения детальной картины распределения глубин на участке.

Наиболее рациональные приемы работ и выбор соответствующих приспособлений для промеров находятся в зависимости от их цели и характера реки.

§ 8. Приспособления для производства промеров

Для производства промеров живых сечений и русла реки применяются следующие приборы: 1) рейки; 2) штанга вертушки (§ 66); 3) наметки; 4) лот; 5) пловучая наметка.

Фиг. 3. Наметка.

1. Р е й к и. Р е й к о й (обычной нивелировочной) для производства промеров можно пользоваться на неглубоких реках; рейка устанавливается вертикально в нужной точке так, чтобы нуль ее находился у дна; тогда отсчет по рейке у поверхности воды дает искомую глубину.

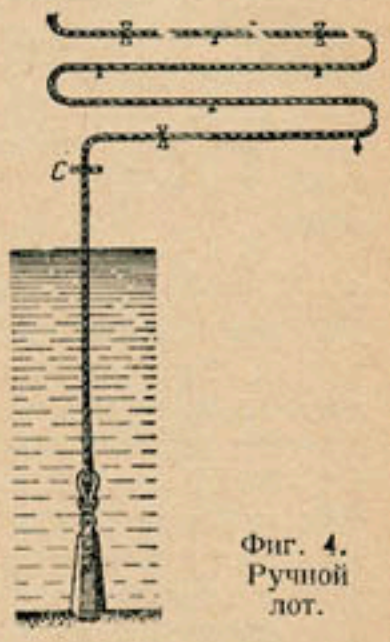
2. Ш т а н г о й вертушки удобно измерять глубины только на неглубоких реках (§ 66), так как калибровка штанги обычно мало заметна для быстрых отсчетов.

3. Н а м е т к а. Наметка (фиг. 3) представляет собой деревянный шест; сечение наметки — круглое, диаметр 4—6 *см*, обычная длина — 6,5—7,0 *м*, достигая до 10,5 *м*; длина зависит от тех глубин, которые предположено встретить при промерах, а также от скорости течения реки; при больших скоростях длинная наметка неудобна в обращении даже при глубинах в 5—6 *м*. Нижний конец наметки оковывается обычно легким железным башмаком; нижняя плоскость башмака совпадает с нулем наметки. Наметка окрашивается белой масляной краской и размечается на десятые доли метра красной краской; цифры надписываются обычно черной краской; полезно выделять также пятерки сантиметров, что делает возможным отсчеты с точностью до 1 *см* (на-глаз). При производстве промеров в текучей воде наметку необходимо опускать несколько вперед против течения с тем, чтобы в момент отсчета она была вертикальна.

4. Л о т р у ч н о й (фиг. 4) состоит из размеченного шнура-лотлиня, на который подвешивается тяжелый груз. Грузу обычно придают пирамидальную форму при весе в 4—6 *кг*, а при очень быстром течении вес груза достигает 10—20 *кг* и даже более и грузу придают обтекаемую форму.

Шнур-лотлинь делают из прочной бечевы толщиной в 3—5 *мм*; во избежание усадки и вытягивания шнура последний перед изготовлением лота погружает-

ся в воду на 3—4 часа, затем в сыром виде вытягивается и размечается на десятые метра; разметку делают так, чтобы выделить пятерки метров, четные и нечетные метры, половины и десятые метров; например, нечетные метры обозначают светлыми кожаными марками с соответствующим числом зубчиков; четные — такими же темными марками, половины метров — красными лоскутками, десятки сантиметров — белыми лоскутками. Время от времени необходимо проверять длину такого лотлиня, сравнивая его со стальной лентой; при хорошем материале ошибка обычно бывает незначительна и не превосходит 1—2%.



Фиг. 4. Ручной лот.

Более надежным в смысле прочности и неизменности своей длины является лотлинь, сделанный из тонкого гибкого многожильного металлического троса толщиной в $2^1/_2$—3 *мм* и размеченный соответствующим образом (металлическими марками).

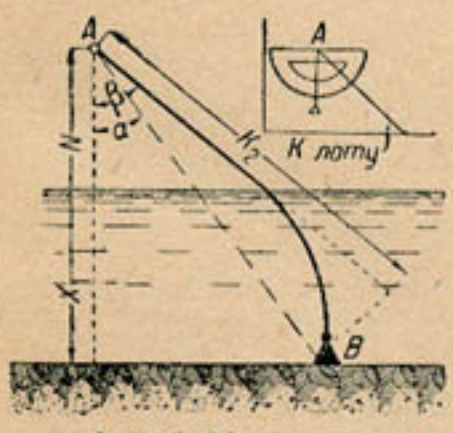
Момент соприкасания гири лота с дном определяется наощупь по уменьшению натяжения лотлиня.

При производстве промеров лотом необходимо иметь в виду явление угона лота водой. При больших глубинах ошибки от отнесения троса водой могут достигать величин в 1 *м* и более. Это надо учитывать и при производстве промеров лотом в условиях большой глубины и большой скорости в отсчеты по лоту следует вводить поправки. Наибольшего угла отклонения трос достигает у поверхности, в средней части получается выпуклость, которая уменьшается ко дну, где трос с грузом принимает более отвесное положение.

На практике поправку находят приближенно, принимая, что лотлинь угоняется так, что линия его наклонена ко дну реки на всем ее протяжении (фиг. 5) так же, как в надводной части лотлиня.

Приближенное значение глубины X_1 может быть тогда определено по формуле:

$$X_1 = K_2 \cdot \cos \beta - N, \qquad (2)$$



Фиг. 5. Угон лота.

где K_2 — измеренная искаженная глубина; β — угол, образуемый вертикалью с наклонным лотлинем и определяемый приближенно по угону видимой части лотлиня; N — расстояние до воды.

Величину угла β можно находить при помощи помещаемого в точке A отвеса (грузик на тонкой бечевке) и сделанного из дикта или картона транспортира, как это показано на фиг. 5 сбоку.

Из фиг. 5 видно, что истинной глубине отвечает поправка, пропорциональная не углу β, а углу α, образуемому с вертикалью линией, соединяющей точку A с точкой B, но при длине промерной части лота, взятой по линии AB. Можно полагать, что ошибка от введения в расчет угла β (вместо угла α) компенсируется отчасти ошибкой от введения в расчет фактической рабочей длины лотлиня вместо длины AB.

При работе тросовыми вертушками роль лота выполняет трос и груз для их опускания.

Описанный тип простого лота удобен для измерения глубин до 20—30 *м*.

Для выполнения промеров при больших глубинах применяют особые механизированные конструкции лотов, облегчающие процесс выполнения промеров. Обычно приборы для глубоководных промеров состоят из таких основных частей: 1) станка с барабаном для наматывания лотлиня и с тормозом для торможения вращения барабана; 2) передаточных роликов, через которые проходит лотлинь и к одному из которых присоединен счетчик оборотов, т. е. счетчик глубин,

для регистрации длины выпущенного при промере лотлиня; 3) троса-лотлиня с грузом. Лучше всего применять груз рыбовидной формы (§ 66), которому придается вес — 20—40 *кг*.

Толщина лотлиня берется обычно 1—3 *мм*; лотлинь обычно изготовляют из нескольких тонких свитых стальных оцинкованных проволок. Для предохранения проволоки от ржавчины иногда на станках делаются приспособления для вытирания лотлиня при его выбирании из воды и для смазывания его маслом (например, пропитанные маслом щетки).

Примером механизированного лота может служить описанная дальше (§ 67) лебедка Виттинга-Кузнецова (изготовляемая мастерскими ГГИ в Ленинграде).

Для учета сноса троса при скоростях течения свыше 1 *м/сек* можно пользоваться специальными поправочными таблицами, составленными ГГИ (изд. ЦУЕГМС, 1935 г.) (См. § 67 и приложение 5).

5. Пловучая наметка может быть длиной до 15—30 *м* и употребляется при промерах на больших скоростях при съемке продольниками (§ 12). Наметка эта изготовляется из нескольких шестов длиной по 7—9 *м*, диаметром в 5—7 *см*, скрепленных простым зубом и гвоздями с обмоткой проволокой; на нижнем конце прикрепляют груз такого веса, чтобы наметка плавала вертикально. На реках с большими глубинами удобно иметь кроме обычной наметки две пловучих: одну длиной 15—16 *м* для промеров глубин от 7 до 15 *м* и другую — для больших глубин от 15 до 30 *м*. Вместо двух пловучих наметок удобнее иметь одну наметку из разъемных звеньев, сращиваемых особыми замками. Ориентировочный вес груза: для наметки длиной в 25 *м* от 10 до 15 *кг*, для наметки длиной в в 15 *м* — от 6 до 10 *кг*. К грузу одним концом прикрепляется тонкий трос, другой конец которого находится в промерной лодке. Этот трос служит для подъема наметки из воды и для удержания груза на случай поломки наметки. Перед началом промеров наметка поддерживается на плаву в горизонтальном состоянии, а затем во время измерений опускается тяжелым концом в воду. Во избежание искривления наметка должна храниться на горизонтальной ровной площадке.

Пловучая наметка почти не дает прогиба, и точность промеров ею глубин близка к точности отсчетов (обычно на больших глубинах — 5 *см*).

Из сказанного видно, что, если позволяют глубины, то в текучей воде всегда следует стремиться к применению для промеров наметки или рейки, как дающих более точные результаты.

§ 9. Состав промерных работ и способы их выполнения

При выполнении промеров подлежат определению три величины: 1) глубина воды в данной точке; 2) координаты этой точки на ее поверхности; 3) отметки уровня воды в местах измерения глубин.

Точно выполненное измерение глубины воды, но недостаточно точно отнесенное к действительному положению точки измерений в плане или неправильная фиксация уровня—равноценны мало точному измерению глубин. Это обстоятельство следует иметь в виду при организации промеров по тем или иным способам.

1. Глубины воды могут быть измерены при помощи приспособлений, описанных выше в § 8.

2. Приемы фиксаций промерных точек в плане по отношению к выбранным точкам на берегах могут быть такие:

а) путем непосредственного измерения расстояний по перетянутому через реку размеченному тросу или бечеве;

б) путем засечек промерных точек с берега угломерным инструментом;

в) путем регистрации по секундомеру моментов отдельных измерений (начального, промежуточных и конечного), выполняемых с лодки при равномерном движении последней в заданном направлении, при известном положении начальной и конечной точек измерений.

В зависимости от расположения промерных точек в плане можно различать промеры:

1) по поперечным профилям;
2) по продольным профилям;
3) по косым галсам;
4) смешанными способами.

Промеры по поперечникам возможно выполнять: а) по тросу, или бечеве, перетянутому через реку; б) по поперечным створам, с засечками положения промерных точек с берега угломерным инструментом.

Промеры по поперечникам удобны при небольших скоростях течения, примерно до 1 *м/сек*, или для неглубоких рек, порядка до 7—8 *м*, когда можно применять ручную наметку.

Промеры по продольникам удобны при больших глубинах (когда удобно пользоваться пловучей наметкой).

Косые галсы применимы на реках широких, с большими скоростями течения, но не глубоких, когда удобно пользоваться ручной наметкой и трудно держаться в створе поперечника.

Смешанные способы применяют на очень больших реках или в случаях сильного и неправильного течения; в этих случаях иногда удобно выполнять промеры по произвольным направлениям с двойными или тройными засечками хода промерного судна при помощи инструментов, устанавливаемых на берегах. Возможно также фиксировать положение точек в плане одним инструментом — одноточечным способом (§ 113).

Расстояния между промерными точками определяются исходя прежде всего из цели промерных работ.

а) При промерах, выполняемых в целях съемки речного русла и для построения живого сечения, среднее расстояние между промерными точками назначается в зависимости от ширины реки и характера рельефа дна, исходя из таких примерных соотношений (табл. 1):

ТАБЛИЦА 1

Ширина реки в *м*	Расстояния между промерными точками	
	При съемке русла в *м*	При промерах живого сечения в *м*
До 10	0,5—1	0,2— 0,5
От 10— 50	1—2	0,5— 1
„ 50— 100	2—5	1— 2
„ 100— 300	5—10	2— 5
„ 300— 600	10—20	5—10
„ 600—1 000	20—30	10—15
Больше 1 000	30—40	15—20

При более сложном рельефе и там, где глубины изменяются быстро, следует брать меньшие расстояния между промерными точками.

При промерах по продольникам и косым галсам расстояния между промерными точками могут быть в два раза больше вышеуказанных.

При этом при промерах по поперечным профилям расстояния между последними берутся: 1) для рек шириной до 100 *м* в $^1/_2$—$^1/_3$ ширины реки; 2) для рек шириной до 1 000 *м* в $^1/_3$—$^1/_4$ ширины реки.

Расстояния между продольниками берутся в $^1/_{20}$—$^1/_{25}$ ширины реки, а между перекрестными косыми галсами — примерно в два раза больше, чем между поперечными промерными профилями.

б) При промерах, выполняемых в целях обследования реки, расстояния между промерными точками берут равными примерно наибольшим из указанных выше; расстояния между поперечными профилями в этом случае берут равными в среднем около 1—1,5 ширины реки.

3. Для установления отметок уровня во время выполнения промеров должны быть организованы достаточно частые наблюдения за измерениями уровней.

Эти наблюдения выполняются или по существующему водомерному посту или по специально устроенным временным водомерным постам. По существующему водомерному посту измерения уровней производят в тех случаях, если промеры глубин выполняются не далее, как в 1—1,5 *км* от этого поста. В противном случае устраивают временные водомерные посты, обычно по два на каждый участок промеров длиной в 1—2 *км* — один в начале и один в конце участка.

Временные посты состоят обычно из прочного кола диаметром в 5—7 *см*, с горизонтально спиленной головкой, который забивается у берега ниже поверх-

ности воды; кол этот связывают нивелировкой с ближайшим репером. Наблюдения производятся при помощи переносной водомерной или нивелировочной рейки.

При промерах, связанных с речными изысканиями, наблюдения за уровнями выполняются применительно к правилам таких изысканий.

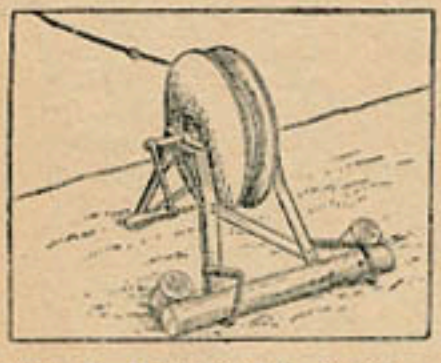
Уровни на больших реках и на реках с изменчивым режимом должны измеряться не реже, чем при переходе от одного промерного профиля к другому. Обязательно нужно регистрировать время измерения как уровней, так и глубин (по профилям).

Для определения положения промерных точек в плане до приступа к промерам необходимо разбить по берегу магистраль с рядом промежуточных точек через каждые 10—20—50 *м* в зависимости от ширины реки и нужной детализации промеров. Магистраль для нанесения ее на план необходимо связать ходом и измерением углов с какой-либо точкой, уже имеющейся на плане. При промерах по поперечным профилям необходима предварительная разбивка этих профилей на местности и закрепление их прочно установленными кольями.

Магистраль и урезы воды по профилям должны быть занивелированы.

§ 10. Промеры по тросу или бечеве

1. Промеры по тросу или бечеве могут производиться с успехом лишь для рек, ширина коих не превышает 150—200 *м*. Промерный стальной трос должен иметь толщину около $2^1/_2$—$3^1/_2$ *мм* и быть достаточно гибким (что имеет место в тросах, изготовленных из отдельных тонких проволочек). Трос должен быть размечен на метры с выделением пятерок и десятков их; одна из возможных форм разметки — напаянные медные боченочки с выбитыми на них цифрами — для метров, и круглые и четырехугольные подвески — для пятерок и десятков метров. Бечева диаметром около 6—10 *м* допускается лишь для малых рек и может быть размечена вплетением разноцветных лоскутков, например: для метров — белых, для пятерок — красных, для десятков метров — белых и красных двойным вплетением; бечева перед разметкой должна быть вымочена для предотвращения последующего ее сбегания, которое, впрочем, для хорошей манильской пеньки наблюдается в очень малой степени; такого рода бечеву и следует выбирать для промерных работ.



Фиг. 6. Переносной ворот.

Трос перетягивается поперек реки, для чего один из концов имеет петлю, надеваемую на специально изготовленный дубовый кол; кол полезно оковывать снизу железом, а на верх его надевать бугель; второй конец троса или бечевы закрепляется за второй кол, забиваемый на другом берегу. Колья для усиления их сопротивления рекомендуется забивать несколько наклонно к берегам и на такой высоте от уровня воды, чтобы трос или бечева охватывали колья у самой земли, не касаясь в то же время своей серединой поверхности воды. Тросы следует хорошо натягивать, для чего удобно применять тали или легкий переносный ворот (фиг. 6).

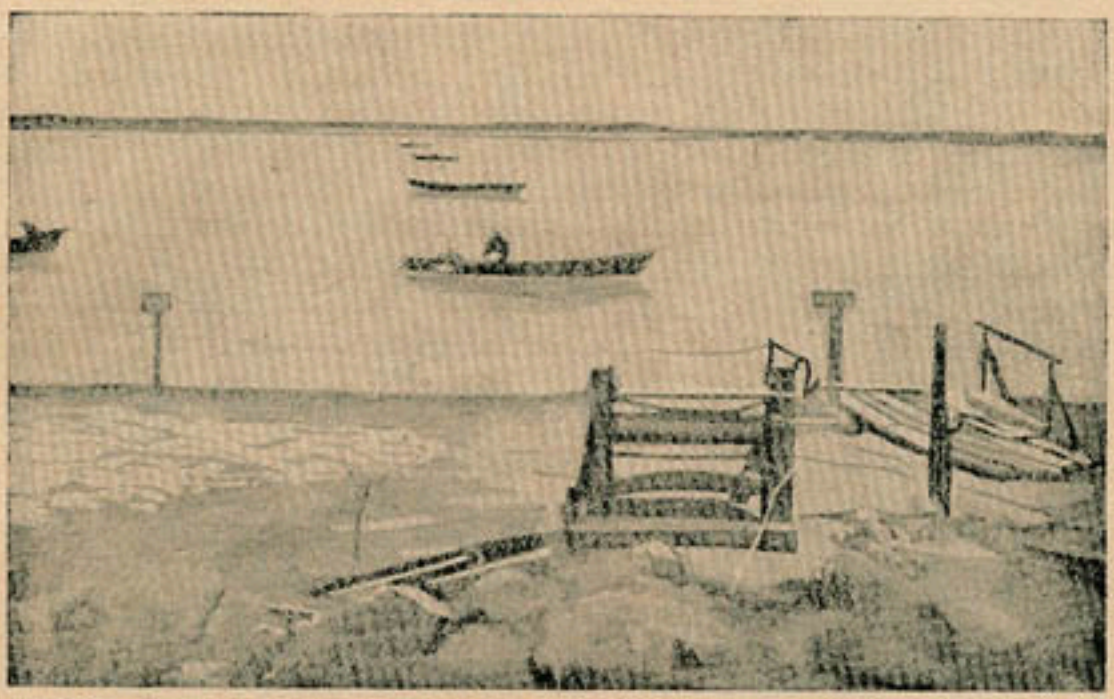
2. Промерная партия (при большой ширине реки) помещается в лодке и состоит из техника для записи промеров, рабочего-наметчика и рабочего для передвижения лодки по тросу или бечеве, а при быстром течении — еще и из рабочего с шестом или веслом для облегчения передвижения лодки и удерживания ее на месте; лодка постепенно передвигается от берега к берегу; по сигналу, даваемому рабочим, ведающим передвижением лодки по тросу (рабочий называет номер марки), наметчик делает промер, громко объявляя полученную глубину и называя одновременно с этим характер грунта: камень, песок, ил и т. д.; записи производит в полевом журнале техник, отмечая глубины против соответствующих обозначений марок; при производстве первого и последнего промеров, вблизи урезов, техником отмечаются расстояния урезов от ближайшей марки, а также марка второго (не нулевого) кола.

3. Если ширина реки больше 100 *м*, обычно приходится для поддержания

троса по середине реки ставить на якоре специальные лодки во избежание большого провеса (фиг. 7).

На каждом профиле промеры следует выполнять не менее двух раз, истинная величина глубин находится как среднее из двух измерений. Точность промеров должна соответствовать глубинам реки.

По окончании промера на данном профиле трос переносится на другой профиль рабочими, идущими по левому и правому берегам; вместе с тем передвигается на следующий профиль и промерная лодка.

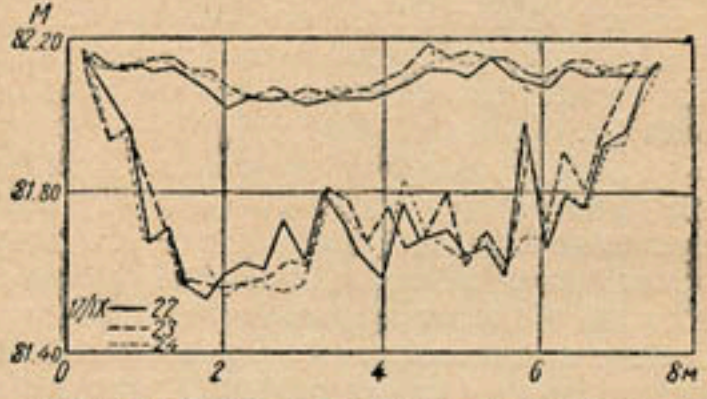


Фиг. 7. Промеры по тросу при широкой реке.

При широких реках применение талей или ворота сильно ускоряет работу, уменьшая потребное число рабочих.

4. На неглубоких реках в летнее время удобно производить промеры вброд. На очень малых реках трос или бечева могут быть заменены стальной рулеткой. Точность измерений глубин на малых реках должна быть 1—2 *см*.

При нетвердом грунте дна следует обращать особое внимание на то, чтобы промерное приспособление не погружалось в грунт, ибо в этом последнем случае значения глубин будут получаться искаженными.



Фиг. 8. Поверхность воды на горных потоках.

5. При измерениях глубин на небольших горных потоках, где может иметь место весьма неровная поверхность воды (фиг. 8), можно рекомендовать измерения производить так: через поток перетягивается, по возможности, горизонтально металлический трос, который нивелируется; затем штангой или наметкой производятся промеры от этого троса до поверхности воды и до дна; глубины в этом случае получаются как разность двух отсчетов, отвечающих указанным измерениям. В результате исключаются ошибки от отнесения глубин к поверхности воды, принимаемой за горизонтальную, и получается близкое к действительности очертание поверхности воды (фиг. 8).

При измерениях глубин на значительных горных реках с весьма быстрым течением промеры вброд или с лодки могут быть затруднительными; в таких случаях можно пользоваться специальными приспособлениями и сооружениями, которые будут описаны далее (§ 53).

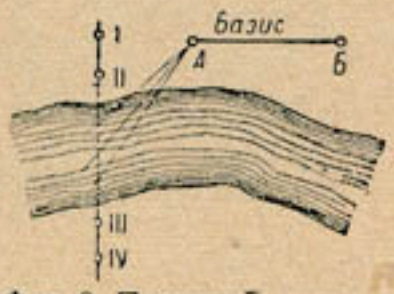
6. В з и м н е е в р е м я при наличии ледяного покрова положение промерных точек на поперечном профиле может быть намечено непосредственно на льду при помощи измерения расстояний от исходной точки (репера) мерной лентой или стальной рулеткой. Положение уреза воды определяется после пробивки у берега во льду траншеи, приводящей воду в соприкосновение с грунтом. В точках измерений пробиваются лунки; глубины воды отсчитываются от уровня воды в лунке.

§ 11. Промеры с засечками по створам

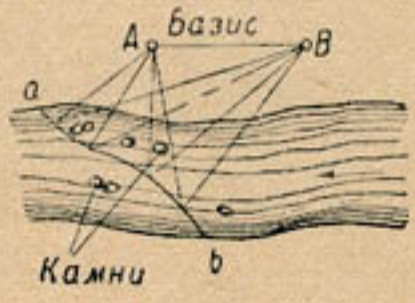
1. Промеры по створам с засечками угломерным инструментом — проще всего мензулой — применяются при ширинах реки больших, чем 150—200 *м*. На берегу разбивается базис-магистраль; один из конечных пунктов его служит местом стоянки инструмента (фиг. 9); далее по поперечникам разбиваются створы, закрепляемые двумя вехами на каждом берегу.

Следует иметь в виду, что взаимное положение базисной линии, т. е. стоянки инструмента и промерного створа, должно быть таково, чтобы углы пересечений линий, определяющих положение промерных точек, не были бы слишком острыми (обычно не менее 18°—20°).

С одной стоянки инструмента обычно возможно выполнять засечки для ряда последовательных профилей — вверх и вниз по реке от места стоянки.



Фиг. 9. Промеры с засечками.



Фиг. 10. Промеры с засечками с двумя угломерами.

Промеры производятся с лодки, передвигающейся по створу от берега к берегу на веслах или при помощи мотора, но возможно равномерно. В лодке помещается промерная партия; в момент промера положение лодки на створе, или вернее положение промерной точки, фиксируется на створе засечками по мензуле.

Засечки могут производиться двояко; первый способ заключается в том, что промерщик подает сигналы мензульщику, который следит в трубу за передвигающейся промерной лодкой; по второму способу мензульщик, разметив на планшете те точки, где надо сделать промеры, дает сигналы промерщику, который и делает промер в требуемой точке. Первый способ следует признать более рациональным, ибо он дает возможность лучше распределить точки в зависимости от местных условий, хотя он и более утомителен для мензульщика, чем второй; при втором обеспечивается более равномерное распределение промерных точек.

Засечками определяются обычно не все промерные точки, а лишь через известные промежутки, например: 4 точки промеряются без засечек, пятая засекается и т. д.; в промежутке же между точками, определяемыми засечками, расстояние между промерными точками определяется по гребкам или по секундомеру.

2. М о м е н т ы з а с е ч е к отмечаются промерщиком путем сигнализации поочередно разноцветными флагами: например, белым и красным; мензулист отмечает свои засечки начальными буквами тех же цветов; разверстка незасеченных промеров между теми, что отмечены сигналами, производится в согласии с записями промерщика о показаниях секундомера или о числе гребков, соответствующих этим промежуточным промерам.

3. Определение положения промерных точек только по времени, т. е. по секундомеру, может давать приемлемые результаты только при обеспечении достаточно равномерного хода лодки; в этом случае промеры делаются обычно через равные промежутки времени, например, через каждые 15 сек.

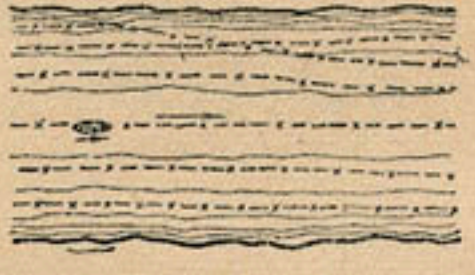
4. В случае наличия высоких и крутых берегов, исключающих возможность установки на берегах видимых с реки створных вех или в случае сильного и неправильного течения, не дающего возможности лодке держаться в створе, положение промерных точек определяется при помощи двух мензул или других угломерных инструментов; эти мензулы в таком случае устанавливаются в двух конечных точках базисной линии, как показано на фиг. 10.

5. Следует иметь в виду, что при промерах по створу с засечками особое внимание нужно обращать на то, чтобы лодка не выходила из створа, что довольно трудно обеспечить при наличии быстрого течения.

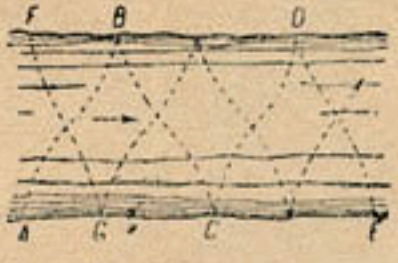
Для уточнения положения створа на плане следует брать тонкие вехи и достаточно большие расстояния между ними.

§ 12. Промеры по продольным профилям и косым галсам

1. Промеры по продольным профилям (по продольникам, весьма удобны при больших глубинах и скоростях течения. Лодку, с которой производятся промеры, пускают свободно плыть по течению на разных расстояниях от берега, по возможности, с равными интервалами по ширине реки (фиг. 11); эти расстояния между продольниками не должны быть меньше $^1/_{20}$—$^1/_{25}$ ширины реки. Промеры лучше всего выполнять при помощи пловучей наметки, но можно также и при помощи лота, который в этом случае удобно держать опущенным



Фиг. 11. Промеры по продольным профилям.



Фиг. 12. Промеры косыми галсами.

в воду на расстоянии около 1 *м* от дна, опуская до дна в точках промеров. Расстояния между промерными точками на продольниках берутся обычно в 1—2 *м* в зависимости от ширины реки.

Лодка может спускаться вниз по течению на длинной заякоренной снасти; при тихом течении лодка может спускаться бортом поперек течения (при быстром течении такой спуск лодки опасен); промеры производятся с обоих бортов при спуске лодки длиной параллельно течению и с одного борта, двумя наметчиками (с носа и с кормы) — при спуске лодки поперек течения.

Положение промерных точек фиксируется с берегов двойными или лучше тройными засечками (двух или трех угломерных инструментов); эти засечки делаются обычно только через каждые 2—3 промера.

Для промеров продольниками необходимо иметь катер или моторную лодку для завоза вверх промерных лодок. Для быстроты желательно иметь четыре лодки: две производят промер, а две поднимаются катером на буксире вверх.

2. Промеры по косым галсам выполняются в процессе передвижения лодки — обычно на веслах — поперек реки по траектории *ABC*... (фиг. 12). Если лодка при этом, перейдя через реку, каждый раз будет подниматься вдоль берега вверх по течению до створа пункта отправления, то получается система перекрестных галсов.

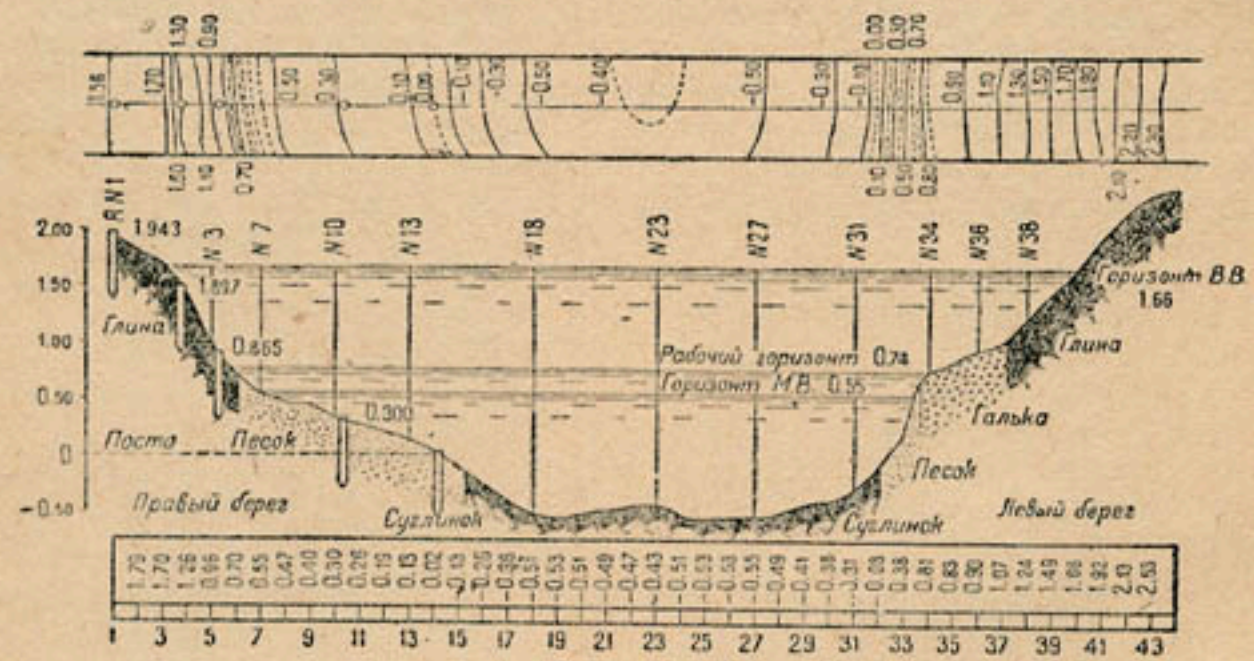
Положение промерных точек фиксируется при помощи засечек двумя угломерными инструментами подобно сказанному в предыдущем параграфе.

При облегченных исследованиях возможно производить промеры по косым галсам без засечек угломерным инструментом, отмечая лишь время отправления лодки, прибытия ее к противоположному берегу и моменты производства промеров по секундомеру.

Тогда по берегам в местах отхода и прибытия лодки надо забивать колья, после окончания промеров произвести их съемку на план, а положение точек промеров определить по промежуткам времени между промерами; траектории промеров в этом случае считают прямыми.

§ 13. Обработка промеров

Обработка промеров производится следующим образом. Прежде всего в полевых книжках делаются поправки для промеров, произведенных лотом, по одному из способов, указанных в § 8. Затем по данным наблюдений за уровнями во время промеров делаются, если нужно, поправки на приведение глубин к выбранному рабочему горизонту, т. е. к имевшему место при производстве промеров. Для этого удобно предварительно строить по данным наблюдений график колебаний уровней и при определении поправок учитывать время измерения глубин в различных точках.



Фиг. 13. Профиль живого сечения.

При незначительных изменениях уровней во время производства промеров, а именно в пределах точности измерений (1—5 *см* для наметки и 5—10 *см* для лота), за рабочий горизонт принимают средний из наблюденных без введения поправок.

1. Если целью промеров было определение живого сечения, то строится профиль его до рабочего горизонта с указанием горизонта самых высоких вод; в последнем случае часть сечения, не покрытого водой, вычерчивается на основании данных нивелировки. Профиль живого сечения строится на клетчатке обычно в искаженном масштабе; удобные размеры масштабов приведены в табл. 2, ниже.

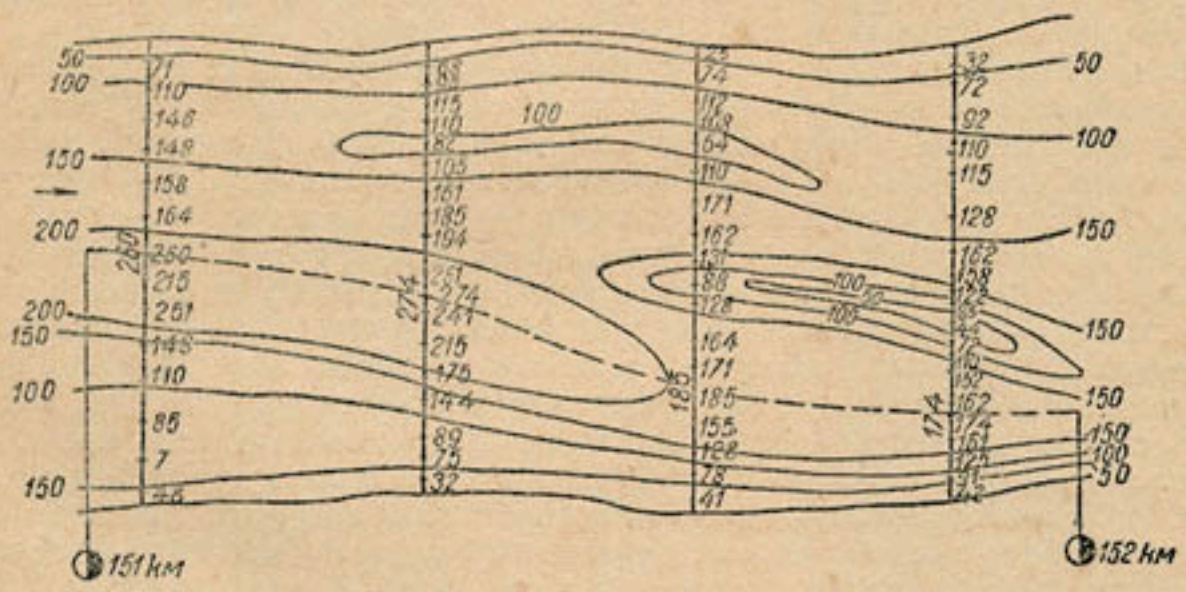
На профиле живого сечения обычно наносятся (фиг. 13), кроме часа и даты дня, в который производились промеры: 1) горизонты наивысший и наинизший на основании многолетних данных ближайшего водомерного поста, а если такового не имеется, на основании меток на берегу и деревьях и по расспросам местных старожилов; источник этих данных должен быть отмечен на профиле же; 2) отметки дна или глубины (при построении профиля по глубинам от рабочего горизонта); 3) породы речного дна и берегов с показанием границ их распространения; 4) все репера — плановые и высотные, находящиеся в створе, с показанием отметок их и горизонтальных расстояний между ними; 5) горизонт воды, при котором производились измерения или рабочий горизонт (в условных или абсолют-

ных отметках или в отметке над нулем ближайшего водомерного поста); 6) следует считать весьма желательным указание способа выполнения промеров.

ТАБЛИЦА 2.

А. Для горизонтальных расстояний		Б. Для вертикальных расстояний	
при расстоянии между крайними точками профиля	масштабы	при высоте самой высокой точки профиля над самой низкой точкой дна	масштабы
До 7 *м*	1 *м* в 5 *см*	До 2 *м*	1 *м* в 10 *см*
От 7 до 15 *м*	1 „ „ 2 „	От 2 до 4 *м*	1 „ „ 5 „
„ 15 „ 35 „	1 „ „ 1 „	„ 4 „ 10 „	1 „ „ 2 „
„ 35 „ 70 „	1 „ „ 0,5 „	„ 10 и больше	1 „ „ 1 „
„ 70 „ 140 „	1 „ „ 0,25 „		
„ 140 „ 350 „	1 „ „ 0,10 „		
„ 350 и больше	1 „ „ 0,05 „		

2. Если целью промеров было установление общей картины распределения глубин на исследуемом участке, чертят план русла в изобатах. Для этого на чертеже контура русла наносят места промерных точек или по створам или по засечкам и т. п.; глубины, обязательно отнесенные к одному условному уровню, выписы-



Фиг. 14. Схема русла в изобатах.

ваются рядом с точками, и по ним вычерчиваются изобаты (фиг. 14) — линии равных глубин, применительно к проведению горизонталей при топографических съемках. Величины, которые надо прибавить (или вычесть) к рабочему горизонту данного профиля для приведения его к одному условному уровню, называют срезкой. Для длинных участков величины срезок определяются по правилам речных изысканий. Иногда вместо изобат проводят горизонтали (для проектирования гидротехнических сооружений, для общих случаев характеристики рельефа русла). Проведение изобат и горизонталей можно производить по ряду последовательно построенных поперечных профилей, по правилам топографии.

§ 14. Особенности промерных работ на стоячих водоемах

При выполнении промерных работ на стоячих водоемах небольших размеров[1] можно применять способ производства промеров по тросу или бечеве. Для более значительных водоемов возможно применение способа промеров по створам с засечками угломерным инструментом — одним или двумя. Разбивку створов следует производить на основании надежных плановых материалов; если тако-

[1] Способы промеров больших озер см., например, в книге проф. Е. В. Близняка, Производство исследований рек, озер и водоразделов, 3-е изд., 1936 г.

вые отсутствуют, то следует прежде произвести съемку контуров озера. В этом случае, если магистраль прокладывается вокруг озера, следует произвести увязку получаемого замкнутого полигона.

При промерах по створам возможно вместо засечек, выполняемых угломерным инструментом с берега, применять также засечки с промерной лодки. Эти засечки можно выполнять бусолью (компасом) на какие-либо береговые точки, положение коих в плане определено; для контроля необходимо визировать не меньше чем на две точки; если из засекаемой точки провести азимут (пеленг) обратного направления, то положение промерной точки определится пересечением этого азимута с линией створа. Этот способ отличается, однако, малой точностью.

Весьма удобно для более значительных водоемов выполнять промеры их глубин со льда.

Этим значительно упрощается процесс производства работ и значительно повышается точность результатов; стоимость работ при небольшой толщине льда (20—40 *см*) в этом случае может быть не выше (и даже ниже), чем при иных способах. К промерам со льда особенно рекомендуется прибегать, когда требуется особо детальное обследование рельефа дна. Выполнению промеров со льда предшествуют: 1) общая рекогносцировка района для выяснения порядка и объема производства работ; 2) разбивка на льду магистрали и поперечников; 3) пробивка промерных лунок. Лунки удобно пробивать пешней (§ 37). В журнале записи отмечают кроме расстояний и глубин также толщину льда и его характеристики (§ 40).

В дополнение к сказанному можно еще отметить возможное применение при промерах глубин на озерах п л о в у ч е й ц е п и или пловучего троса, устанавливаемого на плаву между опорными точками измерений. Обычная длина таких пловучих цепей — 100—200 *м* при толщине в 1,5—3 *мм*; через каждые 2—5 *м* трос снабжается поплавками-марками из дерева или пробки, укрепляемыми на тросе путем их заклинки маленькими деревянными клиньями; на поплавках надписываются соответствующие расстояния от нулевой марки. При установке пловучей цепи следует обращать внимание на ее надлежащее натяжение. При помощи пловучей цепи можно также прокладывать водную магистраль; в этом случае начало и конец цепи устанавливаются на якорях. Работа с пловучей цепью дает сравнительно малую производительность труда, но позволяет выполнять промеры достаточно точно и как угодно подробно.

Обработка промерных данных, выполненных для озер, имеет в виду обычно в совокупности со съемкой озера построение плана озера в изобатах или горизонталях наряду с построением характерных профилей и поперечников. Окончательной обработке предшествует приведение всех промеренных глубин к одному горизонту; за таковой особенно удобно принимать средний многолетний горизонт, если есть возможность вычислить последний; в противном случае выполняют приводку к рабочему горизонту. Одной из задач выполнения съемки и промерных работ на озерах может быть определение объема воды в озере. Эта задача разрешается проще всего при помощи так называемого «метода призм». В этом случае рассматривают объем озера, как состоящий из отдельных призм с основаниями, площадь каждого из которых равна арифметической средней из площадей, ограниченных двумя смежными изобатами. Обозначая искомый объем озера через W, расстояния между изобатами через h_1, h_2, h_3, ..., h_n, площади изобатных поверхностей через g_1, g_2, g_3, ..., g_{n-1}, причем $g_n = 0$, получим

$$W = h_1 \frac{g_1 + g_2}{2} + h_2 \frac{g_2 + g_3}{2} + \ldots + h_{n-2} \frac{g_{n-2} + g_{n-1}}{2} + h_{n-1} \frac{g_{n-1}}{2}. \qquad (3)$$

Площадь зеркала воды может быть определена по вычерченному плану одним из нижеследующих способов:

1. Измерением планиметром или палеткой.

2. Вычислением после разбивки площади озера на ряд правильных треугольников, прямоугольников или трапеций.

ОТДЕЛ ТРЕТИЙ

УСТРОЙСТВО НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ

ГЛАВА IV

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ ПО УСТРОЙСТВУ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ПУНКТОВ

§ 15. Виды основных наблюдательных пунктов

Под общим названием наблюдательных пунктов можно объединить все те пункты, которые устраиваются на реках и соответствующим образом оборудуются в целях производства как систематических, так и спорадических (временных, т. е. выполняемых время от времени) измерений по различным характеристикам режима реки.

В соответствии с принятыми приемами гидрометрических изучений имеются два основных вида наблюдательных пунктов: 1) водомерные посты и 2) гидрометрические створы.

Водомерные посты можно подразделить на ряд категорий: 1) по целевому назначению, 2) по способу устройства и 3) по предполагаемой продолжительности их действия.

1. По целевому назначению можно выделить следующие категории:

а) посты расходные, освещающие изменения в расходе как аргументе, функцией которого является уровень (практически, чисто формально, уровень принимается за аргумент, а расход — за функцию);

б) посты уровенные, изучающие лишь уровень вне его связи с расходами как характеристику режима реки на данном участке;

в) посты уклонные — назначением коих является изучение уклонов параллельно с изучением уровней и расходов;

г) посты для целей предсказаний — для наблюдений, нужных для гидрологических предсказаний различных сторон режима реки (уровней, заторов, нагонных явлений и др.);

д) посты специального назначения — для целей, не входящих в объем заданий, перечисленных выше.

К расходным постам предъявляются основные требования, имеющие в виду удобства измерений расходов и удобства построения кривой расходов.

Уровенные посты должны давать характеристики уровней, характерных для того или иного изучаемого участка.

Уклонные посты устраивают в виде парных постов; уклонные посты можно в свою очередь подразделить на посты мгновенного уклона, свойственного небольшим участкам, и посты осредненного уклона для участков более значительного протяжения.

Посты для целей гидрологических прогнозов имеют своим назначением давать исходный материал для составления прогнозов для нижележащих пунктов.

Посты специального назначения могут обслуживать специальные задачи прикладной гидрологии, как, например, учет изменяемости речного русла; перемещение взвешенных и передвигаемых по дну наносов. К этой же категории можно отнести водомерные посты, устраиваемые для специальных целей судоходства, мелиорации, водоснабжения, канализации, проектировки водных сооружений (плотины, мосты, молы), защиты от наводнений, лесосплава, изучения каких-либо особых местных явлений (пороги, зажоры и т. п.).

2. По способу устройства водомерные посты можно подразделить на такие виды:

1) простые, на которых измерения уровней производятся при помощи рейки наблюдателем поста;

2) передаточные, в которых место отсчета переносится с места действительного измерения в другое, более удобное для непосредственного наблюдения;

3) саморегистрирующие, в которых колебания уровня — непрерывно или в определенные моменты — отмечаются автоматически при помощи особых приспособлений и механизмов.

Наиболее распространенными и легко осуществимыми являются посты первой группы.

3. По предполагаемой продолжительности действия водомерные посты можно подразделить на такие: передвижные, временные и постоянные.

Передвижные (или баржевые) водомерные посты устраиваются в местах стоянок речных изыскательских партий и обычно состоят из прочно забитого в дно реки у ее берега кола диаметром около 6 *см*; на этот кол ставится для измерений реечка с делениями на сантиметры; кол связывается нивелировкой с ближайшим репером или пикетом изысканий; по наблюдениям на таком передвижном водомерном посту при обработке данных изысканий производится срезка горизонтов воды.

Временные водомерные посты устраиваются на более или менее непродолжительный срок, обычно для специальных целей речных изысканий или особых наблюдений.

Постоянные водомерные посты устанавливаются в целях производства длительных или стационарных наблюдений над режимом водотоков или водоемов.

Пункты изучений, включающие водомерные посты и гидрометрические створы, имеющие заданием изучать скорости течения, расходы воды, наносы, уклоны и другие элементы режима потоков, носят название гидрометрических станций, если при них имеется постоянный техперсонал. Гидрометрические створы, при которых нет постоянного технического персонала, т. е. на которых работы производятся приезжающим время от времени техническим персоналом, называют также «выездными гидрометрическими створами».

Необходимо отметить, что в системе ГУГМС водомерные посты, имеющие своим назначением только измерение уровней (и учет сопутствующих им явлений), носят название гидрологических станций III разряда; выездные гидрометрические створы носят название гидрологических станций II разряда, а гидрометрические станции, имеющие еще несколько более широкий круг исследований и постоянный техперсонал, носят название гидрологических станций I разряда.

В системе Гидроэнергопроект различают водомерные посты двух разрядов и гидрометрические станции четырех разрядов в зависимости от объема и содержания работ.

§ 16. Принципы устройства водомерного поста

Каждый водомерный пост должен состоять из следующих частей:

1) непосредственного приспособления для измерения уровней;

2) постоянных высотных знаков-реперов, по которым можно было бы проверять неизменность тех высотных точек, от которых или над которыми производятся измерения уровней. Таких реперов полагается иметь у каждого водомерного поста не менее двух на случай возможного повреждения одного из них. Реперам придают или условные отметки или абсолютные (над уровнем моря), если к получению этих последних есть возможность.

В каждом водомерном посту начальной отметкой (высотой), к которой относятся наблюдаемые колебания горизонтов, служит так называемый нуль

наблюдений. Этот нуль совпадает обычно с нулевым делением рейки в реечных постах с наинизшей точкой, от которых производятся измерения в постах других типов. Поэтому положение нуля наблюдений при переустройстве поста может изменяться.

От нуля наблюдений следует отличать нулевой пункт поста или нуль графика, т. е. тот условный нуль, который для удобства и единообразия обработок раз навсегда принимается неизменным (сокращенно нулевой пункт поста — нуль графика — называют часто просто нулем поста). Нулевой пункт поста (нуль графика) стараются установить ниже самого низкого возможного уровня реки или водоема, чтобы не возникала необходимость иметь дело в обработках с отрицательными отсчетами. Поэтому на практике за нуль рекомендуется выбирать отметку самой глубокой части реки против поста или несколько ниже его [1].

К сожалению, для ряда старых постов приведенное указание при устройстве постов выполнено не было: имеется ряд постов, для которых нуль графика установлен выше наблюдаемых низких уровней.

На озерах за нуль графика принимается обычно наинизшая точка дна истока реки из озера, а если озеро замкнуто, то точка, находящаяся на 30—50 *см* ниже самого низкого из всех наблюдавшихся на озере горизонтов.

Таким образом нуль графика поста может не совпадать с фактической наинизшей точкой водомерного поста, от которой ведутся наблюдения; отметим, что разница по высоте между отметкой нуля наблюдений и отметкой нуля графика носит название приводки; приводка эта, как видно из предыдущего, может быть положительной и отрицательной: отрицательной, если условный нуль поста (нуль графика) выбран выше действительного нуля наблюдений, и положительной, если нуль графика назначен ниже действительного нуля наблюдений.

Как общее правило, нулевые пункты водомерных постов не подлежат никаким изменениям во избежание внесения путаницы при обработке старых и новых данных наблюдений.

Государственным гидрологическим институтом в последнее время для устранения неудобства от существования нулей наблюдений и нулей графиков предложено уровни, измеряемые на водомерных постах, выражать в условных отметках. За исходную отметку предлагается брать однообразную для всех вновь устраиваемых водомерных постов отметку верхнего незатопляемого репера, равную 50 *м*. Однако если такой порядок будет действительно установлен, то получатся существенные неудобства от необходимости оперировать во всех обработках и записях с четырехзначными цифрами (вместо двух- или трехзначных в большинстве случаев применяемых теперь). Эти четырехзначные числа, помимо лишней траты времени на их переписку, несомненно, будут источником ряда ошибок в массовых записях обработок. Кроме того, по сути в этом случае за нуль графика принимается нуль отметки, а значит, нуль графика все же не устраняется и остается существовать параллельно с фактическим нулем наблюдений.

§ 17. Общие понятия о гидрометрическом створе

Под гидрометрическим створом разумеют створ, разбитый поперек реки и закрепленный на местности особыми прочными знаками, особо оборудованный и предназначенный, главным образом, для систематических измерений расходов.

Гидрометрические створы могут быть постоянного типа и временные. Первые устраиваются в целях длительного наблюдения за режимом водотоков, вторые имеют место при изыскательских сезонных работах. По методам предположенных измерений можно различать створы: 1) для поплавочных измерений и 2) для измерений вертушками или другими приборами, при помощи коих скорости определяются в отдельных точках одного сечения реки.

---

[1] Еще различают: на судоходных реках — навигационный нуль, совпадающий с наинизшим на данном участке судоходным уровнем; расходный нуль, совпадающий с отметкой, при которой расход воды у поста равен нулю.

Условия для устройства створов разного назначения могут несколько отличаться друг от друга, но остаются одинаковыми в основном. Во всех случаях устройства гидрометрических створов измерительные работы на них производятся спорадически. Чтобы увязывать измеряемые величины расходов с изменениями уровней, систематическое измерение последних должно быть обеспечено наличием водомерного поста.

Водомерный пост лучше всего совмещать с расположением гидрометрического створа. Это обстоятельство неизменно необходимо иметь в виду при выборе места для устройства водомерного поста. Если постоянный водомерный пост нельзя совместить с расположением гидрометрического створа, следует расположить его к створу возможно ближе; во всяком случае между створом и тем постоянным водомерным постом, к показаниям коего предполагается относить измерения расходов, не должно быть никаких притоков, выходов из оврагов и т. п. При удалении водомерного поста от створа более чем на расстояние видимости невооруженным глазом у створного сечения необходимо устанавливать свой водомерный пост — с т в о р н ы й для измерений уровней во время измерения расходов.

В случае наличия условий, при которых постоянный створ приходится располагать удаленно от постоянного водомерного поста, необходимо кроме сказанного выше иметь в виду следующее: на характер кривой расходов $Q = f(H)$ влияют характеристики реки не у гидрометрического створа, а соответствующие характеристики непосредственно у водомерного поста, к показаниям которого относят измерения расходов на створе.

§ 18. Гидрометрические станции

Гидрометрической станцией называется участок (или несколько участков реки), соответствующим образом оборудованный, на котором производятся повторные определения целого комплекса гидравлических элементов.

Основными работами, выполняемыми на гидрометрических станциях, являются: а) определение расходов воды и наблюдение за уровнями; б) изучение поверхностных уклонов; в) определение расходов растворенных, взвешенных и донных наносов; г) изучение коэфициентов шероховатости; д) ледовые наблюдения — над толщиной льда, ледоставом, ледоходом, донным льдом; е) гидрометеорологические наблюдения — над температурой воды и воздуха, над ветром, над испарением.

К перечисленным наблюдениям в зависимости от заданий и особенностей реки иногда добавляются дополнительные наблюдения, как, например, а) изучение направления струй как поверхностных, так и глубинных; б) наблюдения над грунтовыми водами и др.

Гидрометрическая станция в общем случае состоит обычно из нескольких участков, из которых главнейшими являются:

А. Участок для установки основного водомерного поста станций.

Б. Участок с гидрометрическими створами для определения расходов воды, причем могут иметь место три участка — один для летних, второй для зимних и третий для весенних измерений расходов.

В. Участок для определения коэфициента шероховатости.

Единственным условием, связывающим указанные участки, является прохождение во время измерений через все участки о д н о г о и т о г о ж е р а с х о д а.

Для удовлетворения этого между участками не должно быть притоков или ответвлений речного русла и расстояния между ними не должны быть особенно велики.

В частном случае станция может быть расположена и на одном участке, если он удовлетворяет требованиям для определения всех подлежащих изучению элементов.

В иных случаях гидрометрическая станция может иметь задания, в силу которых входящие в ее состав водомерные посты и гидрометрические створы располагаются на отдельных рукавах или системе притоков у данного участка; одним

из специальных назначений такой станции в этом случае служит учет распределения расходов в изучаемой системе.

Отметим, что наряду с гидрометрическими станциями имеются еще гидрологические станции с более широким или более специализированным кругом изучений, чем обычные гидрометрические станции (см. также § 15).

Гидрологические станции обычно подразделяют на два типа: 1) стоковые, назначение коих состоит в детальном изучении процессов стока (обычно на небольших бассейнах); эти станции обычно оборудуются лимниграфами (§ 29) и водосливами для более точного измерения расходов, а в бассейнах их организуются весьма детально гидрометеорологические наблюдения (жидкие осадки, снег, температуры, ветер, давление, испарение и др.); 2) русловые станции, специальное назначение коих состоит в детальных изучениях явлений, обусловливающих изменчивость русла реки (перемещение наносов, мутность, направление струй и др.).

§ 19. Основная сеть

Долголетнее и непрерывное изучение характеристик режима водных объектов обеспечивается устройством постоянных наблюдательных пунктов на характерных участках речной сети с таким расчетом, чтобы охватить наблюдениями, по возможности, все наиболее важные и интересные реки, находящиеся в различных естественных физико-географических районах страны. Такая сеть наблюдательных пунктов носит название основной гидрологической сети.

Основная гидрологическая сеть имеет главной задачей изучение на реках и других водных объектах всех тех сторон их режима, которые необходимы для разрешения общесоюзных задач в области гидрологии, а также для обеспечения гидрологическими материалами проблем, входящих в генеральный план развития народного хозяйства СССР.

Параллельно с основной гидрологической сетью существуют местные гидрологические сети, имеющие задачу удовлетворения нужд народного хозяйства, а также обороны СССР в пределах соответствующих частей страны, а также и текущих водохозяйственных мероприятий.

Основную гидрологическую сеть составляют (на водах суши):

1) опорные речные наблюдательные пункты (речные станции, гидрометрические станции и водомерные посты);

2) опорные озерные станции;

3) опорные болотные станции;

4) опорные гидрогеологические станции;

5) специальные станции: а) русловые и б) стоковые, имеющие назначением выяснение наиболее сложных явлений быта речного русла на главнейших водных артериях или условий процессов стока.

Местные гидрологические сети составляются из наблюдательных пунктов тех же типов, что и основная сеть.

Организация станций и постов гидрологической сети производится органами ГУГМС, а также и заинтересованными ведомствами и организациями.

В нашем дальнейшем изложении мы будем иметь в виду лишь станции и посты с гидрометрическим характером изучений.

§ 20. Выбор расположения наблюдательных пунктов

При устройстве наблюдательных пунктов обычно приходится решать прежде всего две таких самостоятельных задачи:

1) выбор местоположения пунктов наблюдения на системе реки, т. е. примерный выбор мест расположения;

2) выбор конкретного участка или места, отвечающего выбранному местоположению и удобного для устройства того или иного типа наблюдательного пункта.

Первая задача решается, исходя, во-первых, из цели устройства водомерного поста и, во-вторых, в соответствии с гидрологическими характеристиками данной реки. Если целью устройства водомерных постов является общая задача

по изучению режима реки, то предварительно должны быть собраны такого рода сведения. характеристики бассейна реки; характер питания реки; развитие системы реки, главнейшие притоки и их влияние на режим реки; особенности зимнего режима; наличие искусственных сооружений, их местоположение по реке и их возможное влияние на режим; данные о существующих или существовавших ранее водомерных постах и гидрометрических станциях; данные об имевших место изысканиях и их результатах; расположение населенных пунктов; сведения о водохозяйственном использовании реки: сплав, судоходство, использование для орошения и др.

Все эти сведения служат основанием для выбора наиболее рационального размещения наблюдательных пунктов по тем или иным районам реки.

Если целью устройства наблюдательного пункта служат какие-либо специальные изучения, то исходят в первую очередь из этих последних.

При гидротехнических изысканиях устраиваемые для них водомерные посты (обычно еще до приступа к полевым работам) намечаются так, чтобы надлежащее освещение получили бы все характерные участки реки: ниже притоков, в местах предположенных гидротехнических сооружений (плотины, шлюзы) и т. д.

При исследовании озер на небольших озерах (с площадью не более 10 *км*²) рекомендуется устраивать не менее одного поста, на озерах с площадью 10—100 *км*² — не менее двух постов и т. д. Чем чаще располагать водомерные посты на исследуемых реках или озерах, тем полнее и тщательнее освещается и изучается быт водотока и водоема.

На основе вышеприведенных данных районы предположенного устройства водомерных постов намечаются приближенно по карте, ориентируясь на ближайшие к выбранным участкам населенные пункты.

Выбор конкретного участка, удобного для устройства водомерного поста, может быть осуществлен только лишь путем рекогносцировочного обследования выбранного по предыдущему района в натуре и путем объезда или обхода этого района, как об этом сказано дальше (§ 21).

§ 21. Рекогносцировка и выбор места для основных наблюдательных пунктов

А. Выбор места для устройства наблюдательных пунктов производится применительно к целевому назначению последних.

Выбор места выполняется в процессе рекогносцировочного, но достаточно подробного обследования участка, намеченного предварительно применительно к сказанному в § 20. Рекогносцировочное обследование включает в себя: 1) обследование участка для наблюдательного пункта длиной не менее 3—5 ширин поймы реки; 2) осмотр (путем обхода или объезда) реки на протяжении 10—15 *км* ниже намечаемого участка (и не далее ближайшего источника переменного подпора). Обследование участка имеет целью выявление его характеристик; осмотр реки нужен для выяснения вопроса о наличии источников переменного подпора — искусственных (плотины) или естественных (река, в которую впадает данная река).

Рекогносцировочные обследования желательно производить в период низкой воды, но, кроме того, желательно делать еще дополнительный осмотр выбранного участка реки в период высоких вод.

Рекогносцировка заключается в: 1) предварительном тщательном осмотре намеченного участка (с берега и с лодки); 2) в выполнении промеров глубин по ряду поперечных профилей (не менее трех для каждого участка); 3) в выполнении нивелировок этих же профилей в части их, относящейся к пойме реки (до границы самых высоких вод); 4) в выполнении простейших наблюдений, при помощи поплавков, за скоростями течения и направлением струй; 5) в выполнении глазомерно-бусольной съемки участка в масштабах: для малых рек шириной до 50 *м* — 1/1000, для средних рек — до 1/5000 и для больших при ширине их в межень свыше 200 *м* — 1/10 000; 6) в случаях наличия источников переменного подпора — в нивелирных работах для определения уклонов реки на протяжении от рассматриваемого участка до источника подпора.

В случае если речь идет об устройстве только уровенного водомерного поста, нивелировка поймы может не производиться.

Рекогносцировочное обследование должно осветить следующие особенности участка: а) форма коренного русла и поймы (извилистость, поперечные сечения); б) характер русла реки (грунт илистый, песчаный, галечный, каменистый, наличие крупных валунов, карчей и т. п.); в) характер берегов (грунты, крутизна, обнаженность, растительный покров, размывающая или отлагающая деятельность реки); г) характер поймы (размер, грунты, растительность); д) наличие кос, отмелей, островов, протоков, затонов; е) приблизительные характеристики скоростей течения (равномерность, наличие косых или обратных течений, водовороты); ж) наличие источников переменного подпора (вододействующие заведения, впадение притоков, близость принимающей реки, наличие водной растительности).

Опросным путем в дополнение к непосредственным наблюдениям устанавливаются: а) амплитуда колебаний уровней (наинизший и наивысший уровни и отвечающие им годы); б) характер весеннего половодья и летних паводков; в) условия вскрытия и замерзания, в частности, зажорность и наличие донного льда. Кроме того, выясняются наличие и стоимость рабочей силы и материалов, транспортные средства и пути сообщения.

Результаты рекогносцировочного обследования заносятся в дневник с цифровыми материалами, глазомерными планами, зарисовками, профилями, фотографиями. Кроме того, в результате обследования должен быть составлен технический отчет со сведениями о порядке и характере всех выполненных работ, о режиме реки и о результатах обследования; к отчету должны быть приложены все полевые документы (промеры, нивелировки и т. п.).

Б. Во время выполнения рекогносцировочного обследования надо иметь в виду требования, которым должно удовлетворять выбираемое место. Эти требования для различного рода наблюдательных пунктов различны и сводятся к следующим.

а) Для водомерных постов любого назначения должны иметь место следующие условия:

1. Доступность местоположения. Место, намеченное для устройства поста, должно быть легко доступно для наблюдений днем и ночью; поэтому не следует устраивать посты на слишком крутых берегах; необходимо также избегать участков с отлогими берегами, затрудняющими измерение уровней во время весеннего половодья и паводков, когда подход к месту наблюдения заливается водой на большом расстоянии.

2. Защищенность от повреждений. В целях сохранности поста необходимо выбирать места, защищенные от ледохода и свободные от образования ледяных зажоров; равным образом следует избегать подмываемых берегов, а также учитывать возможность порчи поста от действия наносов.

3. Горизонтальность поверхности воды. Следует избегать устройства постов в тех местах, где может наблюдаться негоризонтальность уровня воды в поперечном направлении; поэтому не следует устраивать посты: а) на крутых поворотах реки и б) в непосредственной близости от устьев притоков; для этого последнего случая руководствуются требованием, чтобы пост был расположен от устья притока на расстоянии, не меньшем пятикратной ширины реки.

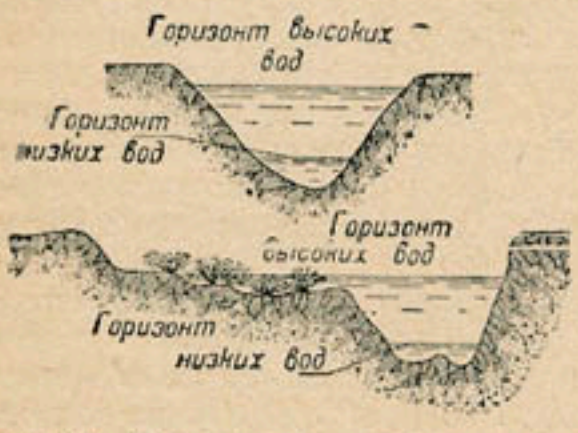
4. Исключение влияния ветров. Не следует устраивать посты на очень длинных прямых и широких участках реки, расположенных по направлению господствующих ветров, так как в этих местах могут происходить нагон и сгон воды от действия ветра, искажающие показания водомерного поста.

5. Близость к жилью наблюдателя. От близости к жилью наблюдателя зависит во многом удобство обслуживания поста последним, а с этим связана зачастую надлежащая надежность его записей.

б) Для водомерных постов разных назначений должны соблюдаться (по мере возможности) такие дополнительные условия:

I. Для расходных постов условия, облегчающие вычисления расходов, интерполяцию и экстраполяцию измерений, а именно:

1. Надлежащая форма русла потока в плане, продольном и поперечном профиле. Следует предпочитать участки, где нет широкой поймы; особенно следует избегать мест, где при низких коренных берегах реки широкая пойма имеет плоскую поверхность (фиг. 15): такого рода поперечные сечения весьма затрудняют построение кривых зависимости расходов от уровней, так как, после того как вода выступит из берегов, весьма незначительному приращению уровня воды может соответствовать весьма значительное увеличение расхода. В этом последнем отношении участки однообразного профиля, имеющие узкую долину, постепенно понижающуюся от своих краев к коренному руслу, являются крайне желательными (фиг. 15 сверху). Водомерный пост следует располагать в верхней части такого участка.



Фиг. 15. Рациональная и нерациональная формы поперечного сечения для расходного водомерного поста.

Точно так же затруднения при построении зависимости расходов от уровней возникают и в тех случаях, когда уровни весьма мало изменяются с увеличением расхода в коренном русле. Это может иметь место на участках с большими глубинами и сравнительно небольшими уклонами, т. е. при медленном течении; таких участков также следует избегать.

2. Неизменяемость русла. Неизменяемость русла в районе предположенных измерений расходов — весьма важное условие, допускающее не столь частые измерения, как это необходимо в противном случае; наносы или размывы на участке измерений или ниже его решительно могут изменять те соотношения между расходами и уровнями, которые выявляются в процессе текущих работ; во всяком случае такая неизменность русла должна иметь место для того района реки, к которому относятся измерения расхода, т. е. где установлен водомерный пост.

Фиг. 16. Порог-регулятор.

Весьма удобной естественной гарантией против изменчивости русла на малых реках может служить какая-либо естественная преграда, например, выход каменных пород непосредственно ниже водомерного поста у места измерений расходов; всякие изменения в профиле русла выше такого неподвижного и неизменяемого

препятствия не сказываются на изменениях уровней, поскольку они обусловливаются постоянным подпором от лежащей ниже преграды. Американская практика в этом отношении рекомендует для небольших рек даже искусственное устройство таких «порогов-регуляторов» из бетона или каменной наброски (фиг. 16).

3. Отсутствие перемежающихся подпоров. Перемежающиеся подпоры от действующих плотин, от главной реки, принимающей данную, от водной растительности и т. п. должны быть избегаемы: наличие их затрудняет построение зависимости $Q = f(H)$, так как разным скоростям и расходам в этих случаях могут соответствовать одни и те же уровни, и наоборот.

В связи с возможностью подпора, а также выносов твердых частиц, изменяющих конфигурацию русла, неудобно располагать места измерений вблизи устьев впадающих рек, ручьев и канав.

Для определения протяжения, на которое распространяется подпор от данного искусственного сооружения или от подъемов воды в принимающей реке, прежде всего необходимо определить уклон данной реки i (если он неизвестен); определение уклона делается по правилам речных изысканий. Кроме того, подлежит определению наибольшая величина подпора H, создаваемая сооружением или подъемами воды в притоке, в принимающей реке, в принимающем озере; далее, последовательными промерами в характерных участках следует определить средние глубины исследуемого участка (h_0).

Расстояние, на которое распространяется подпор от источника подпора, может быть приближенно определено по одной из формул гидравлики, например, по формуле Дюпюи-Рюльмана (фиг. 17):

$$L = \frac{h_0}{i}\left(\varphi\frac{Z_2}{h_0} - \varphi\frac{Z_1}{h_0}\right), \qquad (4)$$

где L — искомое расстояние; Z_2 — превышение над нормальным (который существовал бы при отсутствии источника подпора) уровнем подпертого уровня у источника подпора; Z_1 — то же в любом данном сечении реки; i — уклон поверхности воды в реке при отсутствии источника подпора («естественный уклон», фиг. 17); h_0 — средняя глубина при тех же условиях; величину i удобнее всего получить хотя бы из схематического продольного профиля реки с нанесенной на нем линией дна путем проведения линии средней глубины и линии естественного уклона; величину Z_1 рационально полагать равной какой-либо конечной величине, например, 0,01 *м*, так как кривая подпора в наиболее удаленной от источника подпора части проходит на весьма близком расстоянии от естественной поверхности воды в реке, не имеющем практического значения; при необходимости найти эффект подпора для данного расстояния Z_1 является величиной искомой; значения членов $\varphi\frac{Z_2}{h_0}$ и $\varphi\frac{Z_1}{h_0}$ определяются на основании особых таблиц, которые даны в приложении.

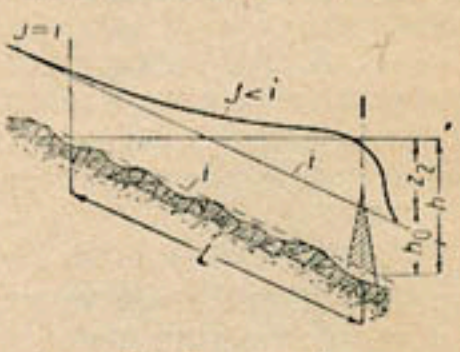
Формула Дюпюи-Рюльмана выведена ее автором для случая прямоугольного (широкого) русла. Для русла, живое сечение коего близко к параболическому очертанию, лучше применять формулу Толкмитта:

$$L = \frac{h_0}{i}\left[\varphi(\eta_2) - \varphi(\eta_1)\right], \qquad (4а)$$

где

$$\eta_2 = \frac{h_2}{h_0}; \quad \eta_1 = \frac{h_1}{h_0},$$

причем $\begin{cases} h_2 = h_0 + Z_2, \\ h_1 = h_0 + Z_1. \end{cases}$



Фиг. 17. Подпертый участок реки.

В формуле Толкмитта h_0 имеет значение наибольшей глубины в сечении.

Величины значений φ приводятся в особых таблицах в гидравлических справочниках.

Более точные приемы определения элементов подпора приводятся в специальных руководствах по гидравлике.

Пример. Пусть имеется плотина, создающая подпор $Z_2 = 1{,}3$ *м*; нивелировкой на протяжении 25 *км*, начиная от нижнего бьефа у плотины и выше, определены отметки урезов воды, приведенные к уровню воды в реке на один и тот же день; эти отметки дали величину естественного уклона реки (до сооружения плотины) $i = 0{,}000197$; средняя глубина реки до устройства плотины h_0 определена равной 2,8 *м*.

Надо определить, на какое расстояние распространяется подпор от плотины.

По Дюпюи-Рюльману, принимая $Z_1 = 0$, имеем

$$L = \frac{2{,}8}{0{,}000197}\cdot\varphi\left(\frac{1{,}3}{2{,}8}\right) = \frac{2{,}8}{0{,}000197}\cdot\varphi(0{,}465).$$

Из таблицы для $\frac{Z}{h_0} = 0{,}465$ находим

$$\varphi\left(\frac{Z}{h_0}\right)_{\frac{Z}{h_0}=0{,}465} = 1{,}61.$$

Тогда

$$L = \frac{2{,}8}{0{,}00\,197} \cdot 1{,}61 = 22{,}8 \text{ км}.$$

В случае, если условия расположения водомерного поста не позволяют избежать влияния переменного подпора на показания поста, необходимо установить ниже основного дополнительный пост, при помощи показаний коего можно было бы учитывать изменения уклона реки в зависимости от изменений величины переменного подпора у источника подпора. Расстояние дополнительного водомерного поста от основного определяется условием получения достаточной и необходимой точности в величинах уклонов и поэтому зависит от уклона реки; можно руководствоваться правилом: расстояние между основным и вспомогательным постами должно быть таково, чтобы падение реки между обоими постами было не менее 5 *см* (при обычной точности измерений уровней, см. § 37). В таком случае вместо зависимости $Q = f(H)$ связь между уровнями и расходами находят в виде семейства кривых $Q = f(H, i)$, вводя в расчет третью переменную — уклон (§ 124).

Влияние переменного подпора от изменчивости русла ниже местоположения поста может быть исключено естественным или искусственным порогом-регулятором, о котором говорилось выше.

II. Для уровенных постов (не специального назначения) дополнительным условием к приведенным в п. «а» можно считать характерность участка для изучаемого района реки.

III. Для постов уклонных дополнительными условиями являются:

1) возможная прямолинейность участка;
2) возможная параллельноструйность течения;
3) однообразное, желательно корытообразное, русло.

Как это установлено исследованиями В. А. Троицкого, расстояние между уклонными водомерными постами должно выбираться в зависимости от комплекса таких факторов: 1) заданной точности определения величины уклона; 2) величины уклона; 3) точности связочной нивелировки; 4) точности отсчетов уровней воды.

В. А. Троицким предложена формула, учитывающая все эти факторы. Эта формула имеет следующий вид (в предположении допустимости ошибки в определении уклона в 5%):

$$\sqrt{L} = \frac{2m + \sqrt{4m^2 + 1\,128\,000\,\Delta \cdot i}}{200\,000\,i}, \qquad (5)$$

где L — искомое расстояние в *км*; m — ожидаемая километрическая ошибка в нивелировке в *мм* (при нивелировании IV разряда $m = \pm 7{,}5$ *мм*, III разряда $m = \pm 4$ *мм*);

Δ — точность отсчетов уровня воды на водомерных постах в *мм*;

i — уклон реки.

Так, при $i = 0{,}0001$, при $m = \pm 4$ *мм* и при $\Delta = 1$ *мм* имеем $L = 1{,}12$ *км*. При допуске ошибки в уклоне в 10% величину уклона, вводимого в формулу, следует удваивать.

Проф. Е. В. Близняк предлагает для определения расстояния между уклонными водомерными постами пользоваться более простой формулой:

$$L = \frac{28 \cdot \Delta H}{h} \text{ км}, \qquad (5а)$$

где ΔH — точность определения отметок уровня воды на обоих водомерных постах в *мм*; h — падение реки на 1 *км* в *мм*. Так, при $h = 200$ *мм* (на 1 *км*, т. е. $i = 0{,}000200$) и $\Delta H = 5$ *мм* получаем

$$L = \frac{28 \cdot 5}{200} = 0{,}7 \text{ км}.$$

При выводе указанной формулы принята точность определения падения Δh, равная 5%, т. е. $\Delta h = 0{,}05\ h$, а ошибка в определении падения на расстоянии L равна

$$\Delta (H_1 - H_2) \sqrt{2} = \Delta H \sqrt{2} = 1{,}4 \cdot \Delta H.$$

Таким образом при устройстве уклонных водомерных постов следует обращать особое внимание как на точность связующей нивелировки, так и в особенности на точность измерений уровней на постах (§ 31).

IV. Для постов для целей предсказаний дополнительным требованием можно считать: наличие условия для возможности быстрой передачи данных наблюдений (телефонная и телеграфная связь).

V. Для постов специального назначения выбор места почти целиком обусловливается их специальными задачами.

в) Для выбора местоположения постоянных гидрометрических створов следует иметь в виду условия, обеспечивающие удобства и точность измерений основных элементов расхода — скоростей течения и глубин, а именно:

1. Правильность русла с параллельноструйным течением без водоворотов, заводей, обратных и косых струй (§ 52).

Для выполнения этого кроме правильности русла, т. е. симметричной корытообразной его формы (при всех горизонтах), необходимо прямолинейное начертание участка в плане или по крайней мере весьма малая его изогнутость. Длина такого участка должна быть не меньше двух-трех ширин реки для малых и средних рек и не меньше одной ширины реки для широких рек.

2. Дно и берега участка вблизи створа должны быть ровными и гладкими, без выступов скал, подводной растительности, крупных одиночных камней, карчей и т. п., ибо эти предметы, во-первых, вызывают неправильности течения и, во-вторых, затрудняют правильное определение площади живого сечения в процессе промеров глубин.

3. Минимальные глубины на 0,75—0,80 ширины реки при низкой воде не должны быть меньше 0,15—0,20 *м*— обычного размера вертушки.

4. Скорости в створе не должны быть меньше 0,10—0,15 *м/сек*, ибо такая скорость отвечает обычному пределу чувствительности вертушки, ниже которого или вертушка не работает или показания вертушки дают грубые ошибки; во всяком случае часть площади живого сечения с такими скоростями не должна составлять более 15—20% от всей площади.

5. Скорости течения не должны быть чрезмерно велики — примерно не более 3 *м/сек* вследствие трудности и малой надежности измерений при больших скоростях.

6. Для измерений зимних расходов кроме указанных выше требований следует обратить внимание на отсутствие условий, при которых русло реки у створа или ниже его могло бы забиваться шугой (см. § 40).

7. Наконец, крайне желательна неизменяемость русла для облегчения анализа выполненных измерений расходов.

В случае невозможности удовлетворить всем этим условиям для измерений и высоких и низких вод следует устраивать два гидрометрических створа — отдельно для указанных обоих случаев.

Вышеприведенные условия относятся к постоянным гидрометрическим створам, рассчитанным на измерения вертушкой.

Можно указать еще такие частные случаи:

1. Створы для сезонных работ. Гидрометрические створы для временных сезонных работ намечаются в местах, удобных для предположенных измерений в условиях данных временных работ и сезона; поэтому требования

к выбору места для таких створов могут быть значительно облегчены по сравнению с теми требованиями, которые предъявляются к створам, предназначенным для длительных изучений.

2. Створы для поплавочных измерений. Выбор места для створов, у коих предполагается производить длительные измерения при помощи поплавков, предусматривает возможность пренебрегать требованиями о минимальных глубинах и скоростях, но зато особо следует иметь в виду необходимость наличия достаточно правильного русла и распределения скоростей в нем. Указания об особенностях выбора и устройства таких створов, дополнительные к изложенному выше, даны далее в отделе об измерении расходов при помощи поплавков (§ 84).

Приведенные соображения имеют в виду выбор места для основных наблюдательных пунктов.

Выбор места для специальных измерений некоторых гидравлических элементов, так же как и дополнительные данные по выбору места для комплексных изучений (гидрометрические станции), будет дан ниже при изложении этих вопросов.

§ 22. Топографические работы

Топографические работы при устройстве наблюдательных пунктов выполняются непосредственно после выбора участков для этих пунктов в целях окончательной фиксации местоположения этих последних, а также в целях фиксации высотных и плановых характеристик участка и возводимых устройств для контроля их изменчивости в последующем.

Объем топографических работ различен в двух таких главных случаях: 1) устройство уровенного водомерного поста или водомерного поста специального назначения; 2) устройство расходного поста и гидрометрического створа.

I. При устройстве уровенного водомерного поста выполняются: 1) глазомерно-буссольная съемка участка расположения поста на расстоянии не менее 100 *м* вверх и вниз от поста, а по ширине поймы до отметок долины реки на 1—3 *м* более высоких, чем горизонт самых высоких вод. При этом фиксируется положение всех свай и реперов поста, а также всех характерных и приметных точек; 2) промеры русла и нивелировки поперечного профиля по створу поста в указанных выше пределах; 3) нивелировка устройств водомерного поста; 4) фотографические съемки общего вида участка, водомерного поста и реперов.

ТАБЛИЦА 3

Ширина реки *B* при высокой воде в *м*		Соответств. длина участка съемки в *м*	
От	До	От	До
10	100	200	600
100	300	600	1 500
300	600	1 500	2 000
600	1 000	2 000	2 500
1 000	2 000	2 500	3 000
2 000	5 000	3 000	6 000

При устройстве уклонных водомерных постов должно быть точно измерено расстояние между ними и прецизионно пронивелированы их устройства и связка между ними. На иных постах специального назначения объем топографических работ определяется местными условиями и назначением поста.

II. Объем и характер топографических работ для гидрометрических створов и расходных водомерных постов, применительно к действующим инструкциям ГУГМС, состоит в следующем.

1. Общая длина участка съемки назначается в зависимости от ширины реки по створу при наивысшем горизонте; ориентировочно эта длина определяется по табл. 3.

2. Масштаб съемки в зависимости от ширины реки *B* при высокой воде устанавливается по табл. 4; кроме того, для рек с очень широкой поймой и малой шириной реки в межень, меженнее русло реки (на протяжении 3—5 ширин

b, но не длиннее всего участка) снимается в более крупном масштабе, определяемом по табл. 5, в зависимости от ширины реки b в межень.

ТАБЛИЦА 4

Ширина реки B при высокой воде в $м$		Соответствующий масштаб
От	До	
1	200	1 : 500
200	400	1 : 1 000
400	1 000	1 : 2 000
1 000	2 500	1 : 5 000
2 500	и выше	1 : 10 000

ТАБЛИЦА 5

Ширина реки b в межень в $м$		Соответствующий масштаб
От	До	
1	100	1 : 500
100	200	1 : 1 000
200	400	1 : 2 000
400	1 000	1 : 5 000

3. Рекомендуется следующий порядок работ:

А) установить реперы и временные водомерные посты;

Б) проложить опорную сеть;

В) произвести промеры глубин;

Г) произвести нивелирование реперов, опорных пунктов, основных ходов, водомерных постов, промерных кольев и пр.;

Д) произвести вертикальную и горизонтальную съемку подробностей с описанием берегов и поймы;

Е) выполнить детальную съемку участка, непосредственно прилегающего к створу.

А. Реперы устанавливаются у гидрометрического створа, не менее двух на одном берегу, а при ширине B более 1 $км$ — еще один репер — на другом берегу; кроме того, при длине участка в пределах 600 $м$ — 2 $км$ устанавливают два дополнительных репера у верхней и нижней границ участка, а при ширине B свыше 2 $км$ — такие же реперы устанавливаются и на втором берегу.

Временные водомерные посты в виде прочно забитых сваек, в числе трех (по краям участка и в середине его) устанавливаются для приведения съемки к мгновенному горизонту и производства срезки промеров.

Б. Опорной сетью при съемке участка может служить:

а) магистраль по одному берегу — при ширине участка меньше 300 $м$;

б) замкнутая магистраль или полигон при ширине участка от 300 $м$ до 2 $км$;

в) геометрическая сеть (графическая мензульная тригонометрическая сеть) для тех же случаев, что и по п. «б»;

г) выполняемая теодолитом триангуляция и тригонометрическая сеть — при ширине участка свыше 2 $км$.

Полигоны и магистраль разбиваются теодолитом с точностью нониуса не менее 1 мин. Стороны их измеряются дважды стальной лентой с равномерным натяжением. Допускаемая ошибка в длине: $^1/_{1000}\,L$ для полигонов и $^1/_{2000}\,L$ для магистрали, прокладываемой по ровной пойме, где L — длина хода.

Допускаемая ошибка в измерении углов замкнутого полигона $\delta = t\sqrt{2n}$, где t — точность нониуса горизонтального лимба, а n — число углов полигона.

Графическая мензульная триангуляция производится на основе точно измеренного базиса треугольниками с внутренними углами не меньше 30°. Точность измерения базисов при графической триангуляции $^1/_{2000}$ его длины. Все вершины треугольников должны по возможности определяться точным пересечением не менее трех направлений.

Вершины треугольников и всех углов должны быть закреплены прочными и надежными кольями или железными трубами.

При прокладывании основных ходов и измерений вершин треугольников обязательно засекаются все приметные постоянные пункты (шпили, фабричные трубы, мосты и т. д.).

Должно быть определено также теодолитом направление истинного меридиана.

В. Промеры глубин (§ 9) в пределах границ участка съемки производятся по всей длине реки и ее протоков, если таковые имеются; особенно детально промеры глубин производятся на участке небольшой длины (10—50) в месте намеченного гидрометрического створа.

Г. После разбивки основной сети и промерных профилей прозводится техническое нивелирование всех реперов, вершин треугольников, вершин основных ходов, пикетов, временных и ранее установленных водомерных постов, промерных кольев, характерных точек гидротехнических сооружений и пр., а также урезов горизонтов воды.

Нивелирование производится в условных или абсолютных отметках.

Нивелирование урезов воды производится по кольям, забитым в тихую погоду одновременно на всем участке, по сигналу или верным часам, через 50—200 *м*, в зависимости от длины участка.

Допустимые невязки при нивелировании определяются по формулам для нивелировок IV разряда:

а) для замкнутых полигонов

$$\Delta h \leqslant 0{,}01 \sqrt{L} + 0{,}001 L; \qquad (6)$$

б) для двойной нивелировки по одному ходу

$$\Delta h \leqslant 0{,}015 \sqrt{L}, \qquad (7)$$

где Δh — допустимая невязка в *м*; L — длина хода в *км*.

Д. Высотная съемка подробностей производится с точностью, необходимой для проведения горизонталей:

а) при масштабе $^1/_{500}$—$^1/_{2000}$ через 0,5 *м*;

б) при масштабе $^1/_{5000}$—$^1/_{10000}$ через 1 *м* для поймы и через 0,5 *м* для дна.

Для вертикальной и горизонтальной съемки подробностей может применяться мензульная и тахеометрическая съемка, съемка поперечниками и нивелировочными ходами, а также смешанные виды съемок. При этом на план должны быть нанесены согласно установленных условных знаков горизонтали, бровки, границы низкого рабочего и наивысшего горизонтов воды, дороги, переправы, все гидротехнические сооружения, лес, кустарник, угодья, изгороди, отдельные дома, болота, канавы, озерки, пруды, отдельные крупные камни и пр.

Во время съемки должно быть произведено описание грунта поймы по обнажениям берегов, а также взяты образцы грунта в характерных местах.

Все стоянки мензулы или теодолита должны быть закреплены прочными кольями.

При съемке поперечниками последние нивелируются одиночной, увязанной по концам, нивелировкой.

Е. Детальная съемка участка створа выполняется для полосы, включающей створ, шириной в 20—50 *м*.

В состав съемки участка створа входят: 1) разбивка двух крайних поперечников, параллельных гидрометрическому створу; 2) провешивание и пикетаж главного створа и разбитых поперечников; 3) нивелировка створа и поперечников; 4) съемка подробностей участка поймы; 5) увязка съемки с промерами участка.

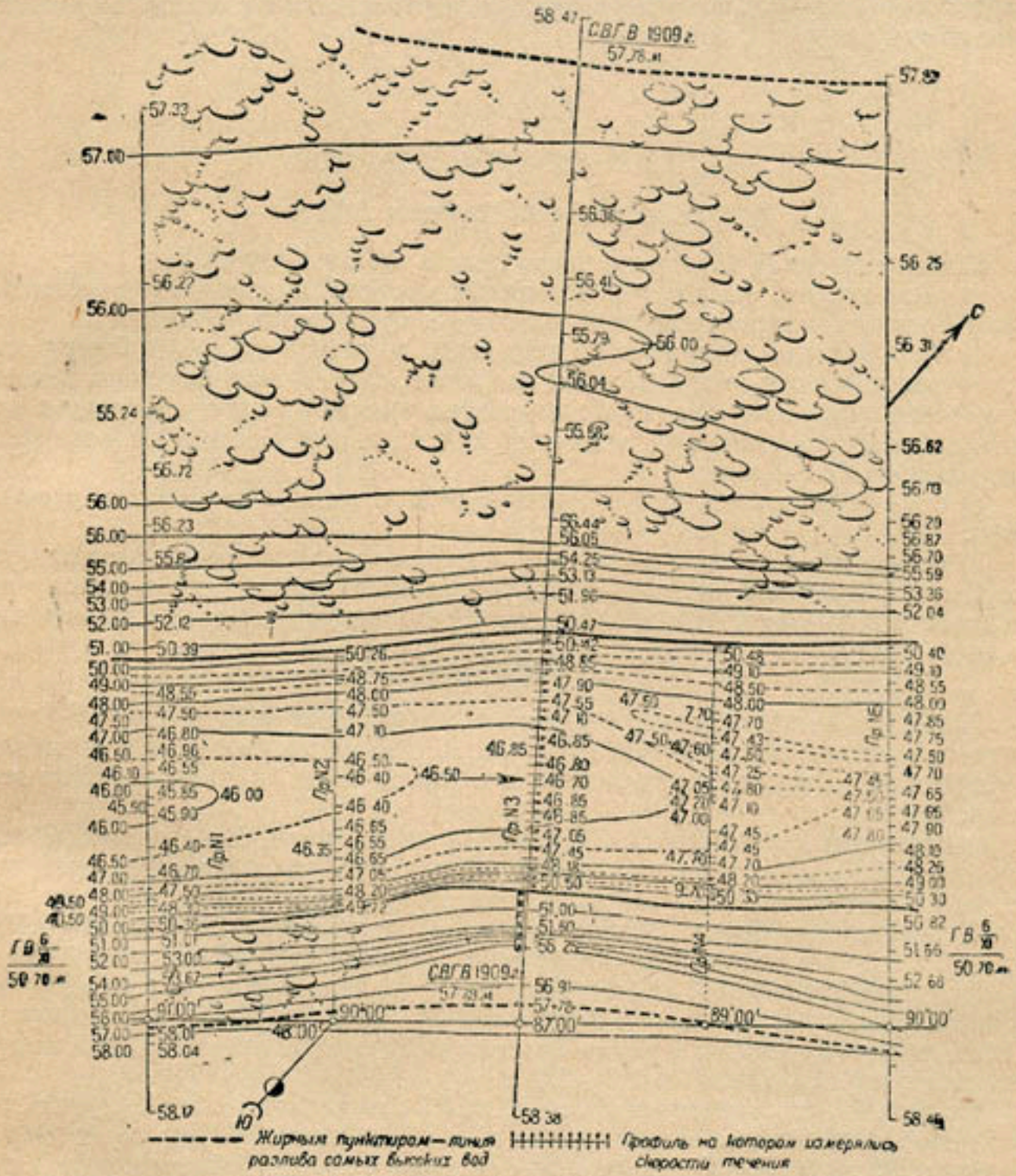
Масштаб съемки створного участка устанавливается $^1/_{200}$—$^1/_{500}$, а в случаях широкой поймы — до $^1/_{1000}$.

Съемка участка створа точно увязывается в плановом и высотном отношениях с установленными реперами.

Детали всех указанных работ приводятся в специальных инструкциях.

III. Одновременно с топографическими работами (или после них) выполняются также измерение скоростей и направления течений и измерение расхода (§ 52); необходимо также собрать ряд данных следующего характера: а) о прохождении высоких вод, об их высоте и продолжительности, о скоростях течения и пр.; б) о местах образования и величине зажоров, заторов

и майн; в) о господствующих ветрах и волнении; г) о лесосплаве (плоты, моль); д) о судоходстве; е) о гидротехнических сооружениях на участке и в непосредственной близости от него: местоположение, степень влияния на изменение естественного режима; ж) о наличии водоснабжения, осушения и орошения и влиянии таковых на изменение режима реки в разное время года; з) о ближайших водомерных постах, реперах, гидрометрических и метеорологических станциях.



Фиг. 18. Съемка участка для гидроствора.

Кроме того, должны быть произведены фотографические снимки общих видов на участке, обнажений грунтов, староречий, растительности, реперов, водомерных постов и пр.

IV. Обработка материалов производится согласно существующим инструкциям (ГГИ и ВГУ), причем предварительная обработка должна быть выполнена в поле одновременно с полевыми работами.

В результате предварительной обработки должны быть получены следующие материалы: а) полевые книжки и журналы; б) ведомости: координат, реперов, увязки нивелировки, срезки и др.; в) планы участка (всего и отдельно — створа) в горизонталях, с нанесением всех подробностей и устройств (фиг. 18); г) план

русла реки с линиями направлений течения; д) обработанные расходы воды; е) графики колебания горизонта воды; ж) продольный профиль реки в пределах съемки.

Эти материалы в процессе их камеральной обработки дополняются далее проверочными подсчетами, составлением подробных, поперечных и продольных профилей, альбомом фотоснимков, данными дополнительных гидрометрических исследований (§ 52—54), подробной пояснительной запиской (с описанием участка) и подробным техническим отчетом.

ГЛАВА V

ТИПЫ ВОДОМЕРНЫХ ПОСТОВ

§ 23. Подразделение простых постов

Простые посты (§ 15) можно подразделить на такие категории:

а) р е е ч н ы е, на которых измерения уровней производятся по постоянно укрепленным у места измерений одной или нескольким рейкам;

б) с в а й н ы е, состоящие из ряда свай, забитых в створе на берегу реки так, что самая нижняя свая находится под водой, а самая высокая лишь немного покрывается самой высокой водой; измерения уровней воды производятся при помощи переносной рейки, которая ставится на головку ближайшей к берегу сваи, находящейся в воде;

в) с м е ш а н н ы е, включающие в себя элементы свайных и реечных постов.

г) посты м о с т о в о г о т и п а, в которых горизонт воды определяется измерением расстояния от какой-либо неподвижной точки, находящейся вне поверхности воды над нею, например, от фермы железного моста или подошвы рельса на мосту.

§ 24. Реечный пост

Главной принадлежностью реечного поста является рейка, наглухо (вертикально или наклонно) закрепленная на каком-либо искусственном или специально устроенном сооружении так, что можно предполагать полную неизменность ее положения

а) Вертикальные установки. Водомерная рейка может быть деревянной или металлической; в иных случаях деления рейки могут быть накрашены непосредственно на соответствующем искусственном сооружении.

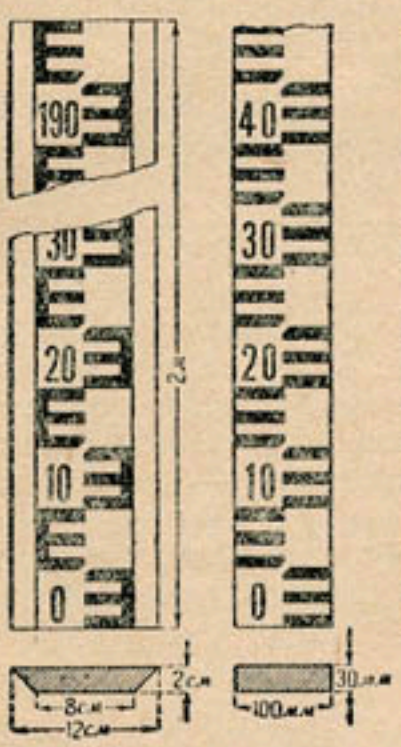
1. Деревянные рейки делаются из досок толщиной в 2—4 *см* (1—1,5″), шириной в отделке около 12 *см*; длина рейки определяется наибольшей возможной амплитудой колебаний горизонтов воды у места предполагаемого сооружения водомерного поста; так как эта амплитуда может достигать величины от 4 до 12 *м*, то для перевозки и установки целесообразно делать рейку по длине из нескольких звеньев длиной в 1,5—2,0 *м*.

На лицевой стороне рейки красной, синей или черной краской (лучше эмалевой) наносятся деления в сотых долях метра (или через 0,02 *м*); перед окраской делается тщательная разметка при помощи стальной рулетки, и деления закрепляются при помощи глубоких нарезок. Погрешности в разметке допускаются не больше 1 *мм* на каждый сантиметр и не более 5 *мм* на 2 *м* длины рейки. Образцы разметки показаны на фиг. 19 (нормальная разметка), на фиг. 20 (Украина) и 21 (Туркестан).

Весьма непродолжительное сохранение на рейке окраски (2—3 года при весьма хорошем качестве краски), особенно в нижнем ее конце, где происходит частая смена уровней, делает малопрактичным такого рода окрашенные рейки. Поэтому окраска должна или периодически возобновляться или может быть заменена выжиганием как делений, так и самых цифр.

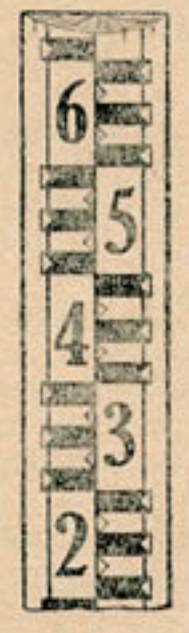
2. Гораздо практичнее и долговечнее м е т а л л и ч е с к и е рейки. Металлические рейки можно делать литыми из чугуна с выпуклыми делениями и цифрами (фиг. 22 — германский тип, фирмы Отт).

Другой возможный тип металлических реек — из тонкого листового цинка шириной в 7—8 *см*, а за неимением такового — из оцинкованного железа или листового алюминия. Калибровка таких реек может быть осуществлена при помощи сквозных просечек разного вида, например, четные сантиметры — длинная черта ($^1/_2$ ширины рейки), нечетные сантиметры — одна точка, пятерки — три точки, десятки — черта с кружком на конце; цифры тоже могут быть сделаны сквозными. Будучи свернуты в трубки, заготовленные заранее трафареты весьма портативны в перевозке. Для их установки на месте заготовляется предварительно деревянная доска соответствующей длины с поперечным сечением в 10 × × 3 или 10 × 4 *см*; доска хорошо осмаливается или окрашивается темной краской. Металлический трафарет прикрепляется к доске гвоздями; белые деления и цифры весьма отчетливо выделяются на фоне осмоленной доски (фиг. 23).



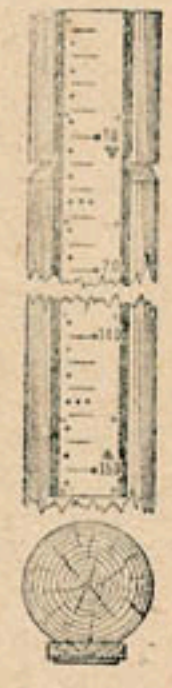
Фиг. 19. Разметка рейки нормальная.

Фиг. 20. Разметка рейки иного типа.



Фиг. 21. Разметка рейки Средазводхоза.

Фиг. 22. Чугунная рейка.



Фиг. 23. Рейка из листового металла.

3. Установка и укрепление реек на месте производятся различными способами в зависимости от местных условий.

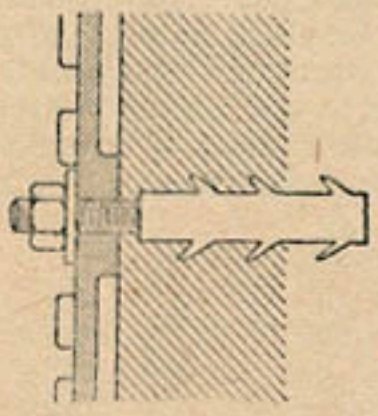
Наиболее целесообразно воспользоваться для установки рейки уже существующими искусственными сооружениями, деревянными или каменными (или бетонными). В этом случае необходимо выбирать место, наиболее защищенное от ледохода и ударов плывущими предметами и судами; при мостовых сооружениях таковыми являются низовые стороны быков и устоев или боковые стороны сооружений. Если таких защищенных мест найти нельзя, то рейку втапливают в особо протесанные для сего пазы или защищают отбойными сваями.

К деревянным частям сооружения рейка может быть прикреплена при помощи гвоздей или винтов (фиг. 24); к каменным стенам рейки прикрепляются металлическими штырями, втапливаемыми в кладку на цементе. При прикреплении рейки к искусственному сооружению полезно на нем же отмечать (краской или насечками) положение целых метров, что служит поверкой неизменности положения рейки. Иногда, как указывалось, при наличии каменных или бетонных искусственных сооружений (быки моста), деления рейки наносятся краской или насечками непосредственно на искусственное сооружение.

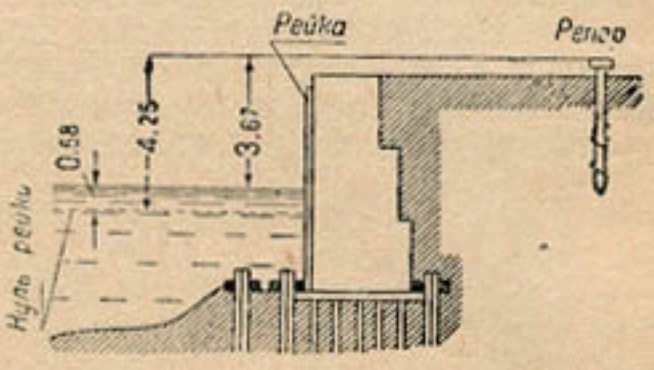
Фиг. 25 дает пример устройства реечного поста у набережной.

В местах отсутствия уже возведенных искусственных сооружений для закрепления реек служат специально забиваемые сваи. Такая установка возможна только при незначительных скоростях течения. Сваи забиваются в грунт до от-

каза (но не менее 2,50 *м*) так, чтобы длина свободной части сваи, считая от дна, была не больше длины, вошедшей в грунт. Верхушка сваи по окончании забивки скашивается в сторону, противоположную рейке, чтобы не задерживалась дождевая вода на торце; на открытый торец надевается сверху колпак из окрашенного кровельного железа (фиг. 26). При возможной опасности от ледохода сваю с рейкой следует защитить специально забиваемыми ледорезными сваями. При большой



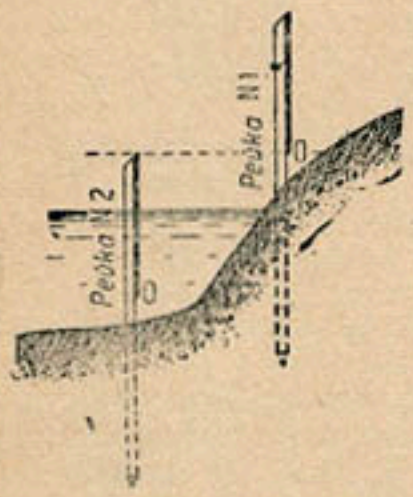
Фиг. 24. Закрепление чугунной рейки.



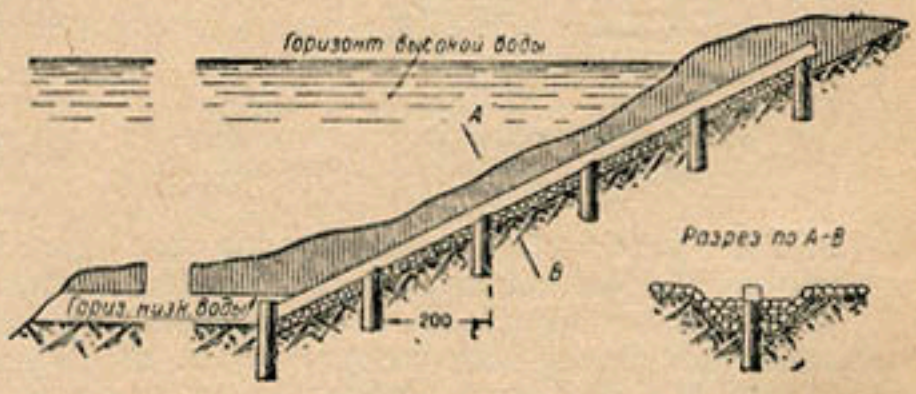
Фиг. 25. Реечный пост у набережной.

амплитуде колебаний уровней воды в реке удобно устанавливать 2—3 отдельных рейки более короткой длины на разных высотах берега с таким расчетом, чтобы каждая из отдельных реек служила продолжением по высоте предыдущей рейки (фиг. 26). Нуль рейки должен быть не менее чем на 0,2 *м* ниже самого низкого возможного уровня воды, а максимальная цифра шкалы — на 0,5 *м* выше максимального возможного уровня.

4. При очень больших скоростях течения в целях устранения ошибок от набегания на рейку воды устанавливают рейку в ковше.



Фиг. 26. Реечный пост на сваях.



Фиг. 27. Наклонная рейка.

Для этого на берегу вблизи уреза выкапывается квадратная яма, приблизительно со сторонами в 2—3 *м*, глубиной немного более средней глубины реки в данном месте; стенки ямы крепятся или приданием им естественного откоса, или каменной отсыпью, или деревянными креплениями; свая для рейки тогда забивается в дно ямы. Яма сообщается с руслом открытым каналом, выходящим в реку под углом к течению во избежание засорения канала и ковша наносами; место для ковша целесообразнее всего выбирать у более крутого берега, которому в реке обычно соответствуют бо́льшие и более постоянные глубины.

б) Наклонные рейки. К особому виду реечных постов могут быть отнесены наклонные рейки. Вертикальные рейки по предыдущему удобно устраивать лишь в случаях возможности достаточно обеспеченной защиты их от ударов плывущих на реке предметов (и ледохода) и где около рейки не образуется волны подпора от быстрого течения. В тех случаях, когда условий для удобной установки

вертикальной рейки не имеется, могут быть установлены наклонные рейки в особых углублениях в береге. Берег для такой установки должен быть выбран достаточно пологий, с уклонами в пределах 20—60° и в то же время достаточно прочный, не подверженный размывам и наносам. Если берег пологий, то в откосе делается выемка, а вода к рейке подводится канавкой. Если берег слишком крутой, для рейки в откосе выбирается ниша, а боковые стенки этой ниши укрепляются одеждой из дерева или из камня. Откосы канавки, подводящей воду к рейке (если таковая канавка имеется), а также откосы выемки для рейки тоже укрепляются в зависимости от грунта, причем для укрепления тут может быть применена дерновка или мощение камнем.

Общий вид устройства наклонной рейки показан на фиг. 27. Сама рейка в этом случае представляет собой брус сечением около 40 × 20 *см* или доску прочного сечения, укрепленную на сваях путем врубок шипами и железных скоб; сваи берутся диаметром в 15—18 *см* и вбиваются на глубину не менее 1,50 *м* и на расстоянии друг от друга около 2 *м*. Вместо деревянных опор можно применять бетонные или каменные; размер основания зависит от качества грунта, а глубина его — от глубины промерзания грунта. В предупреждение гниения рейка окрашивается краской, а поверхность выемки под нею обкладывается мелким камнем или гравием. Калибровка рейки производится после ее окончательного закрепления путем нахождения с помощью нивелира метровых меток и тщательной разметки по интерполяции промежуточных делений.

Можно также для разметки определить угол наклона плоскости рейки к горизонту

$$\sin \alpha = \frac{h_1 - h_2}{L}, \tag{8}$$

где h_1 и h_2 — отсчеты по нивелиру по двум установкам нивелировочной рейки на расстоянии L, считая по длине наклонной рейки.

Тогда величина одного деления наклонной рейки, отвечающая 1 *см* вертикальной рейки, будет равна:

$$l_1 = \frac{1}{\sin \alpha}. \tag{8а}$$

Наклонная рейка, тщательно изготовленная, может служить довольно долго.

Удобнее деления разметки наносить не на основном брусе, а на специальной рейке, укрепляемой поверх бруса.

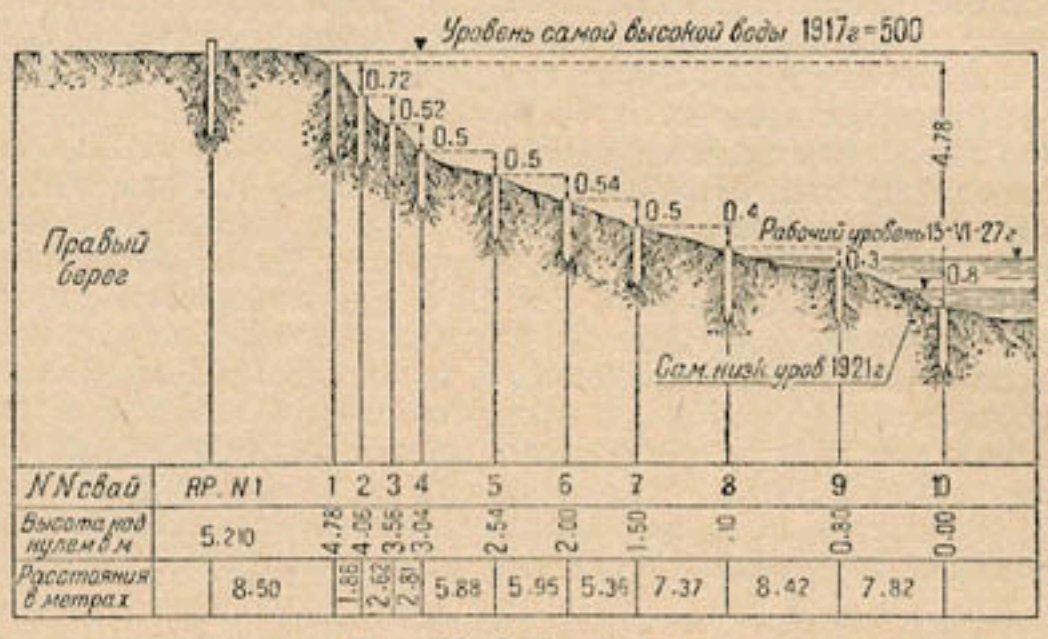
§ 25. Свайный пост

1. В случае отсутствия условий, удобных для устройства реечных водомерных постов, устраивают свайные водомерные посты (фиг. 28). Свайные посты состоят из ряда свай, забиваемых в дно и берег реки в одном створе, перпендикулярном к течению реки. Сваи располагаются так, чтобы поверхности их головок разнились по высоте не более чем на 1 *м* (лучше — 0,60—0,70 *м*), и в то же время, чтобы удобно было подойти к каждой из них, когда предыдущая по высоте свая (со стороны берега) уже выступает из воды. Чем быстрее течение, тем чаще следует располагать сваи для удобства измерений. Самая низкая свая должна быть забита ниже уровня самых низких вод еще на 20—50 *см*; самая высокая свая — на столько же ниже самого высокого возможного уровня; и тот и другой уровни определяются по опросам местных жителей. Измерение уровней производится путем постановки на головку сваи особой переносной рейки. Каждая из свай имеет свой номер; высота ее головки определяется нивелировкой. Количество нужных для устройства поста свай определяется приблизительным измерением расстояния по высоте между самым низким и самым высоким возможными уровнями.

2. Сваи берутся из дуба, бука или сосны толщиной около 0,20 *м*; сваи заостряются обычным порядком — на три канта для слабых грунтов и на четыре — для более твердых; в последнем случае на затесанный конец сваи рекомендуется

надевать металлический башмак, а на головку — железный бугель. Предназначенный для забивки конец должен быть для предохранения от гниения обуглен, осмолен или окрашен.

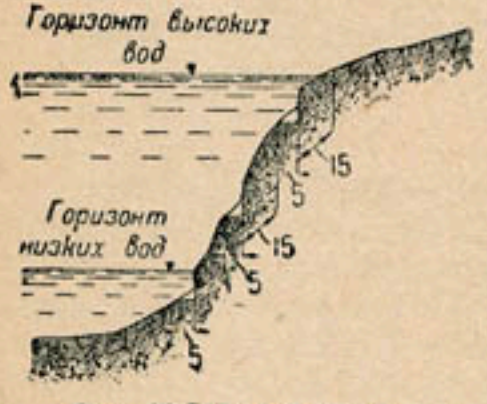
3. Забивка производится ручной бабой весом в 50—80 *кг* с временных подмостей. Глубина забивки должна быть до отказа, но не менее 2,00 *м*; в торфяных грунтах сваи должны забиваться до подстилающего торф слоя и углуб-



Фиг. 28. Свайный пост.

ляться в последний; в противном случае при усыхании болота сваи могут изменять свое положение вместе со слоем торфа, в котором они сидят, а весной — приподниматься льдом вместе с разбухшим торфом при насыщении его водой.

4. Головки свай спиливаются совершенно горизонтально так, чтобы над поверхностью грунта выступал конец не более 5—20 *см*; в пределах, близких к ледоходному горизонту, головки спиливаются почти заподлицо с землей; полезно окрашивать верхнюю часть (белой краской). В середине спиленного торца сваи забивают большой корабельный гвоздь с широкой шляпкой или группу малых широкошляпных гвоздей в виде кружка; еще лучше применять покрышку из чугуна или железа; назначение этого — облегчить наблюдателю нахождение головки сваи под водой, так как окованная железом переносная рейка при ударе о железо сваи издает характерный звук, не позволяющий смешать с водомерной сваей какой-либо случайно попавший в створ поста деревянный обрубок или камень.



Фиг. 29. Пост в скале.

5. Все сваи нумеруются по порядку, начиная с самой высокой, обозначаемой № 1; в организациях водных путей сообщения принят обратный порядок нумерации свай; там также принято придавать расстояниям между сваями по высоте строго определенные величины, равные 0,50 или 1,00 *м*. Номера свай удобно обозначать на головках свай краской или забивкой широкошляпных гвоздей по соответствующим очертаниям цифры. Верхние части свай полезно покрывать масляной краской или смолой для предохранения от гниения.

6. Деревянные, дубовые или из акаций сваи могут служить около 8—10 лет. Гораздо дольше служат металлические чугунные сваи или железные сваи из рельсов и фасонного железа. Чугунные сваи, снабженные винтовыми лопастями и завинчиваемые при помощи особого ключа, изготовляются заводским способом и вследствие своей дороговизны не получили распространения. Они применяются, главным образом, для нижних нулевых свай, а также самых верхних (постоянных, реперных) свай.

7. В отдельных случаях при наличии каменистых берегов и наличия подходящего материала сваи водомерного поста могут устраиваться из каменных столбов, закрепляемых в углублениях при помощи каменной наброски или цементной кладки. Наконец, при скалистых берегах можно заменить сваи высечками в скале площадок для установки переносной рейки, как это показано на фиг. 29. Нумерация площадок делается при помощи высечки цифр на вертикальных стенках площадок или при помощи накрашивания этих цифр масляной краской.

8. Применяемая для измерения уровней переносная рейка делается из доски и имеет толщину 1,50—2,50 *см* при ширине в 7—8 *см*; калибровка делается через 1 *см*; для уменьшения подпора набегающей при измерениях воды одно или два ребра рейки скашиваются. Нижний конец рейки обивается железом; длина переносной рейки делается от 1,30 до 1,50 *м*. Общий вид применяемой обычно переносной водомерной рейки показан на фиг. 30.

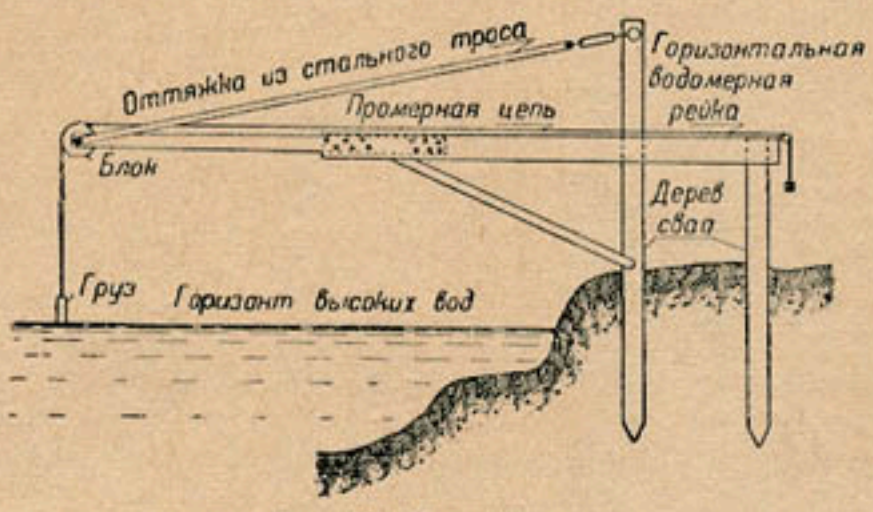
9. Для возможности более точного отсчета при волнении иногда устанавливают снабженные отверстиями успокоительные бездонные ящики или широкие трубы, опуская их вокруг сваи до дна реки.

§ 26. Смешанные и мостовые посты

1. Смешанные посты включают в себя элементы реечных и свайных постов. Примером смешанного водомерного поста может служить такое устройство: для наблюдений за колебаниями летних и осенних вод устроен свайный пост; вследствие наличия весьма широкой и весьма постепенно поднимающейся поймы, заливаемой высокими водами, наблюдения за последними ведутся по рейке, наглухо скрепленной со столбом, находящимся также в створе поста.

2. Примером поста мостового типа могут служить те посты временного характера, которые существуют при железнодорожных мостах в целях регистрации прохода высоких вод под мостами. Уровни воды в этих случаях изме-

Фиг. 30. Переносная рейка.



Фиг. 31. Цепной пост.

ряются путем опускания груза на размеченной бечеве (или стальной рулетке) от низа рельса пути или от нижней кромки пояса ферм — постоянных точек, отметки коих известны.

Таким образом отличительной чертой этого типа поста служит измерение от точки, расположенной выше и вне воды.

§ 27. Передаточные посты

К числу передаточных постов можно отнести цепной пост. Схема его устройства показана на фиг. 31. Измерения уровней выполняются при помощи передвижения груза до соприкосновения с поверхностью воды. Отсчет можно производить по разметке, сделанной на тросе (цепи), поддерживающем груз, от

условного нуля, близкого к наиболее низкому возможному уровню воды в реке; для выполнения отсчетов тогда служит постоянный указатель на горизонтальном брусе конструкции (разметка троса или цепи идет справа налево по фиг. 31; нуль разметки отвечает наиболее низкому возможному положению груза). Иным способом (как это отвечает схеме фиг. 31) отсчеты выполняют так: на горизонтальном брусе сверху его укрепляется рейка с делениями (еще удобнее такую рейку укрепить вертикально, на опорном, крайнем от берега, столбе); постоянная указательная метка, отвечающая наиболее низкому уровню, имеется в этом случае на тросе (цепи); калибровка рейки отвечает возрастанию ее шкалы слева направо (по схеме фиг. 31), т. е. увеличение цифр отвечает поднятию груза от его наиболее низкого положения. Вместо троса для передвижения груза лучше применять цепь (железная калиброванная или велосипедная).

Пост указанной конструкции удобен лишь для горных рек с большими скоростями течения, но с небольшими амплитудами изменений уровней и с достаточно крутыми отвесными берегами. К достоинствам его в этом случае можно отнести то, что он: 1) не нарушает естественных условий потока, 2) не создает подпора и 3) не может быть поврежден плывущими предметами.

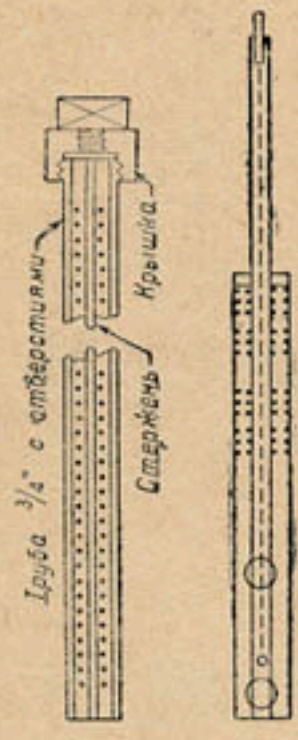
К недостаткам цепного поста следует отнести прежде всего малую точность отсчетов (порядка около 2—3 *см*). Ошибки отсчетов зависят от: 1) деформаций опорных частей; 2) растяжения троса или цепи; 3) изнашиваемости цепи и блока; 4) невертикальности цепи с грузом; 5) затруднений при определении момента соприкосновения груза с водой; 6) относа ветром цепи с грузом.

В промежутках между отсчетами груз должен быть поднят над водой и цепь закреплена во избежание ее излишнего растягивания.

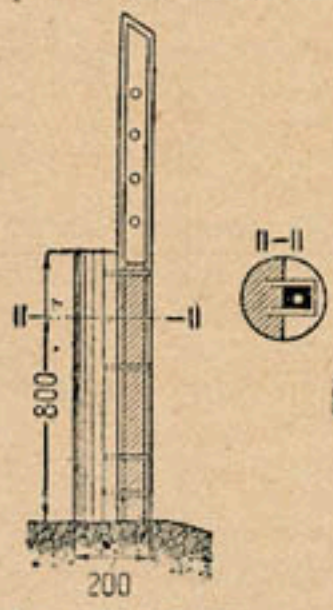
§ 28. Автоматические устройства для регистрации крайних уровней

Для автоматической регистрации крайних значений уровней для данного отрезка времени — максимальных и минимальных уровней, — могущих иметь место между двумя срочными наблюдениями, применяют: 1) максимальные и 2) минимальные или 3) максимально-минимальные автоматические рейки.

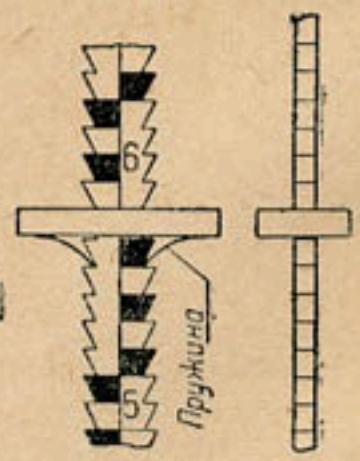
1. Достаточно удобным устройством максимальной рейки является следующее:



Фиг. 32. Стержневая максимальная рейка.



Фиг. 33. Трубчатая максимальная рейка.



Фиг. 34. Поплавочный индикатор минимально-максимальной рейки.

На месте измерений укрепляется газовая продырявленная труба (фиг. 32), в которую опускается железный стержень с головкой, имеющей винтовую нарезку, при помощи которой головка ввинчивается ключом в такую же нарезку в трубе. Вдоль стержня укрепляется полоска бумаги с проведенной на ней гектографическими чернилами или химическим карандашом вертикальной чертой. Вода про-

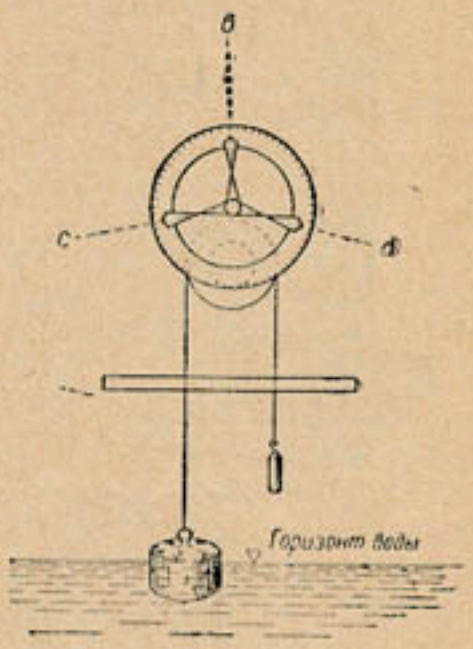
никает в трубку и размывает чернильную линию до того места, до которого поднимается уровень воды. Наблюдатель после подъема воды должен вывинтить стержень и измерить длину от границы размыва до конца стержня, если этот последний совпадает с нулем рейки, или до головки стержня, если известно превышение этой головки над нулем водомерного поста или другою какой-либо опорной точкой.

2. Устраивают также, по предложению Е. В. Близняка, такую дешевую и простую конструкцию трубчатой рейки: изготовляют трубу из 4 досок с рядом отверстий с боков и с крышкой вверху. Одна из стенок такой трубы делается съемной или открывающейся на петлях. Внутреннюю поверхность этой трубы замазывают мелом, известью или углем. Такую трубу закрепляют вертикально у искусственного сооружения или вертикально забитой сваи у места наблюдений (фиг. 33). Под действием поднявшейся воды внутренняя окраска смывается до границы подъема; положение этой границы затем измеряется, и таким образом определяется высота подъема воды.

3. Относительно распространенным типом максимальной рейки является зубчатая рейка с поплавочным индикатором, показанная на фиг. 34. Деревянный поплавок, надетый на зубчатую рейку, благодаря наличию на нем двух пружин поднимается вместе с водой только вверх и при спаде уровней остается на наивысшем уровне своего подъема. Зубцы деревянной рейки полезно обивать жестью или тонким оцинкованным железом.

Такая же конструкция, но установленная зубцами вниз (т. е. перевернутая вверх ногами), может служить как минимальная рейка, как это видно из той же фиг. 34. Такие рейки следует устанавливать в специальных защитных трубах, сбитых из четырех досок в виде продолговатого футляра.

Можно рекомендовать конструкцию подобных установок осуществлять в специально отрываемых котлованах, соединяя их с рекой трубой.



Фиг. 35. Регистратор минимально-максимальных уровней Владычанского.

4. В. И. Владычанским предложена такая конструкция (фиг. 35): поплавок опущен в трубу, сообщающуюся с рекой; шнур от поплавка перекинут через блок и на другом конце имеет противовес; на оси блока насажено зубчатое колесо, приводящее в движение второе зубчатое колесо; на оси этого последнего насажены три стрелки: главная *b*, движущаяся от поплавка, и две другие—указатели максимального и минимального уровней, которые перемещаются только в ту или иную сторону при помощи упора их в главную стрелку; после производства отсчетов по всем трем стрелкам крайние могут быть придвинуты к главной, и, таким образом, аппарат опять готов к действию.

§ 29. Самопишущие посты (лимниграфы)

Приборы, регистрирующие уровни воды непрерывно путем автоматической записи, называются лимниграфами.

Существенными частями всех лимниграфов являются: поплавок или другое приспособление, передающее колебания уровней воды; затем барабан с бумагой для записи этих колебаний, обычно в уменьшенном масштабе; пишущее приспособление; часовой механизм, приводящий в движение или барабан или пишущее приспособление.

Существующие многочисленные конструкции лимниграфов можно подразделить на такие группы:

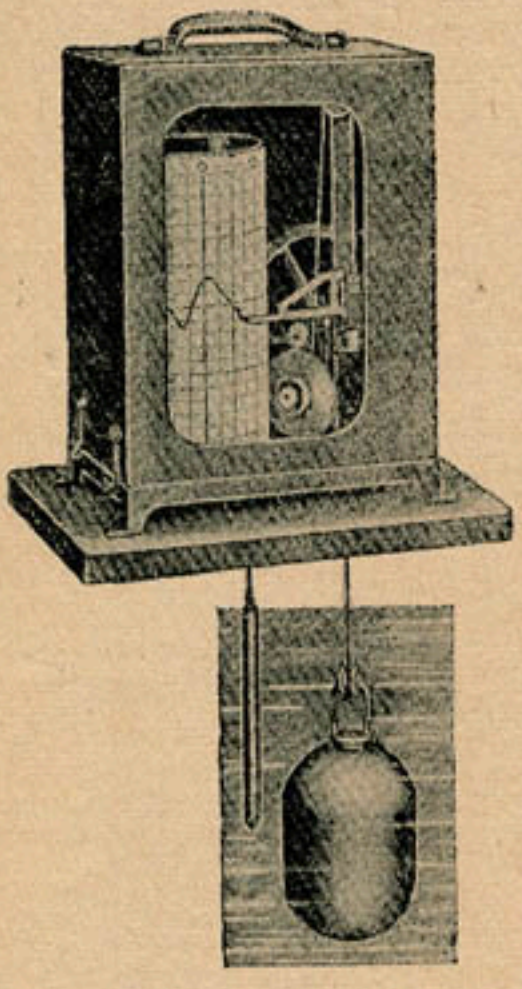
1) устанавливаемые непосредственно у места наблюдений;

2) передающие колебания уровня и регистрирующие их на более или менее значительном расстоянии.

Вторая группа включает в себя две таких главных подгруппы: а) имеющие электрическую передачу и б) имеющие пневматическую передачу.

1. В качестве примера лимниграфов первой группы можно указать применяемые во многих странах многочисленные типы лимниграфов Отта, лимниграфы системы Альбрехта фирмы Килли в Мюнхене (принятые в Баварии) и др.

Один из типов фирмы Отта дан на фиг. 36 (тип *XV*); вертикальный барабан приводится в движение помещенным внутри его часовым механизмом и имеет высоту в 200 *мм* при окружности в 384 *мм*; барабан делает один оборот или в 8 или в $1^1/_3$ дней (смотря по установке); колебания уровней воды передаются через поплавок и через систему передаточных колес горизонтальному рычагу, несущему перо; масштаб диаграммы на барабане может быть получен в 1 : 5 или 1 : 10 или 1 : 20.



Фиг. 36. Лимниграф Отта.

Фиг. 37. Лимниграф Альбрехта-Килли.

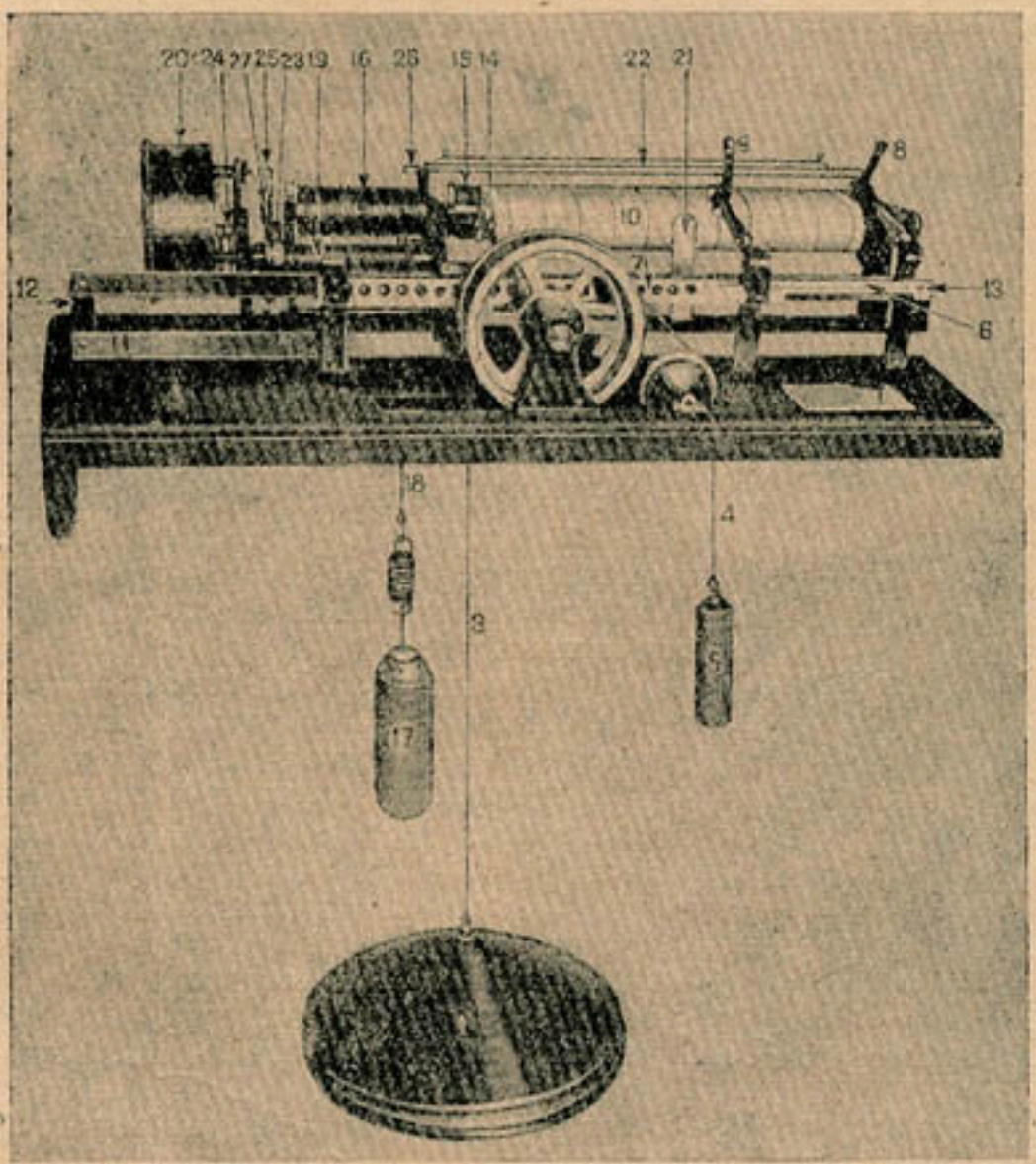
2. Лимниграф Альбрехта-Килли, отличающийся большой простотой, изображен на фиг. 37. Барабан имеет горизонтальную ось вращения; часовой механизм помещен сбоку (на фигуре — слева). Поплавок вращает при помощи блока с перекинутым шнуром от него горизонтальный шпиндель с винтовой нарезкой на нем; на шпинделе, на специальной обойме, от которой идет упорный рычажок к задней стенке прибора, укреплен вертикальный рычаг с карандашом; упорный рычажок при открывании крышки автоматически отводит карандаш от барабана; при вращении шпинделя обойма с вертикальным пишущим рычагом перемещается в ту или иную сторону. В новейших конструкциях этого прибора шпиндель имеет еще обратную винтовую нарезку, в силу чего пишущий рычажок, дойдя доотказа влево, автоматически переводится на обратный ход,— что увеличивает возможную к записи амплитуду изменений уровней. Масштаб искажения колебаний уровней — 1 : 10 или 1 : 20; завод делается на 1 месяц или на 1 неделю, что дает для длины суточного хода 10 *мм* или 48 *мм*.

Аппарат этот в количестве свыше 140 экземпляров работает успешно (с 1906 г.), на реках Баварии.

3. Весьма многочисленны типы американских лимниграфов; среди них можно различать: 1) дающие диаграммы изменений уровней и 2) печатающие через определенные промежутки времени цифры, соответствующие данным стояниям уровней.

Примером первых могут служить лимниграфы фирмы Фриз (Julien P. Friez et Sons, Baltimore) (фиг. 38). От вышеописанных этот лимниграф отличается тем, что пишущий рычажок *9* передвигается при помощи горизонтальной рейки

(*12—13* на фиг. 38), имеющей внизу зубчатую нарезку; эта рейка передвигается зубчатым колесом, насаженным на ось блока, через который перекинут шнур от поплавка. Имеется также вторая зубчатая рейка со вторым пишущим рычажком *8*, приводимая в действие, когда первая рейка придвигает первый рычажок *9* вплотную к левому (на фиг. 38) краю барабана; таким образом достигается увеличение возможной амплитуды записи колебаний. Барабанов имеется два, устроенных так, что бумага постепенно перематывается с одного на другой. Масштаб искажения колебаний горизонтов — от $^1/_4$ до $^1/_{24}$", завод — 8-дневный.



Фиг. 38. Лимниграф Фриза.

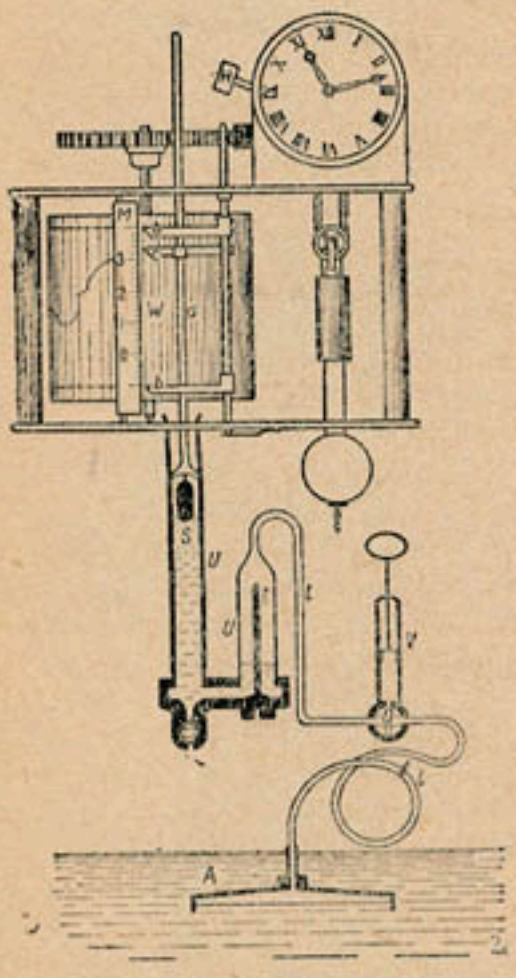
Лимниграф фирмы Герлей (Gurley, New York) типа № 630 может работать без участия человека в течение 6—7 мес.

Каждые $^1/_2$ часа ($^1/_4$ часа или 1 час, по желанию) изменения уровней фиксируются выбиванием цифр времени и уровней (в сотых долях фута) на особой ленте.

4. Имеются также конструкции лимниграфов, дающие не непрерывную лимниграмму, а делающие проколы на бумаге через определенный промежуток времени. Таков, например, лимниграф фирмы Хаслер (G. Hasler) в Берне, дающий лимниграмму почасовых проколов бумаги.

5. В качестве примеров лимниграфов второй группы, регистрирующих уровни на довольно значительных расстояниях от места наблюдений при помощи электрической передачи, можно привести типы лимниграфов: немецкие Отта, американские Герлей (Gurley), французские Ришар (Richard) и австрийские Отт-Ганзер (Ott-Ganzer).

Общая всем им особенность конструкции такая: система состоит из трех частей: приемника, передаточной линии и отправляющего аппарата. Отправляющий аппарат, устанавливаемый на берегу реки (или водоема), имеет контактное устройство с реле и приводится в действие от колебаний следящего за уровнями поплавка: контакты обычно действуют при изменениях уровней от 1 до 5 *см*. Передаточная линия состоит из одного или двух проводов (обратный ход осуществляется через заземление); в последнем случае второй провод предназначается для сигналов (звонком) о достижении уровней назначенного предельного значения, ток посылается в линию от аккумуляторной батареи или от другого источника постоянного тока. Приемный аппарат, помимо графического изображения уровней на барабане в различных масштабах, может быть снабжен особым указателем наблюдаемого в данный момент уровня.



Фиг. 39. Лимниграф Фусса.

6. В Вене, в Австрийском центральном гидрологическом учреждении (Zentralbureau für Hydrographie) уже около 25 лет успешно работает целая центральная станция, оборудованная работающими на далекое расстояние автоматическими регистраторами уровней. В сеть станции включено 6 водомерных постов Дуная и его притоков, из которых самый далекий находится от Вены на расстоянии 180 *км*; эти водомерные посты кроме обычных лимниграфов оборудованы также передаточными контактными отправными аппаратами, соединенными проводами с центральной станцией. Устройство центральной станции таково, что:

1) можно в любой момент вызвать любой из включенных в сеть постов и получить наблюдаемую на нем в этот момент высоту уровня;

2) центральная станция вызывает сама, автоматически через каждые 2 часа, каждый из постов и получает соответствующие уровни.

Уровни отмечаются на центральной станции на особой ленте, подобной телеграфной, путем выбивания на ней цифр уровней в целых метрах, дециметрах и сантиметрах; цифрам уровней предшествует условный номер данного водомерного поста.

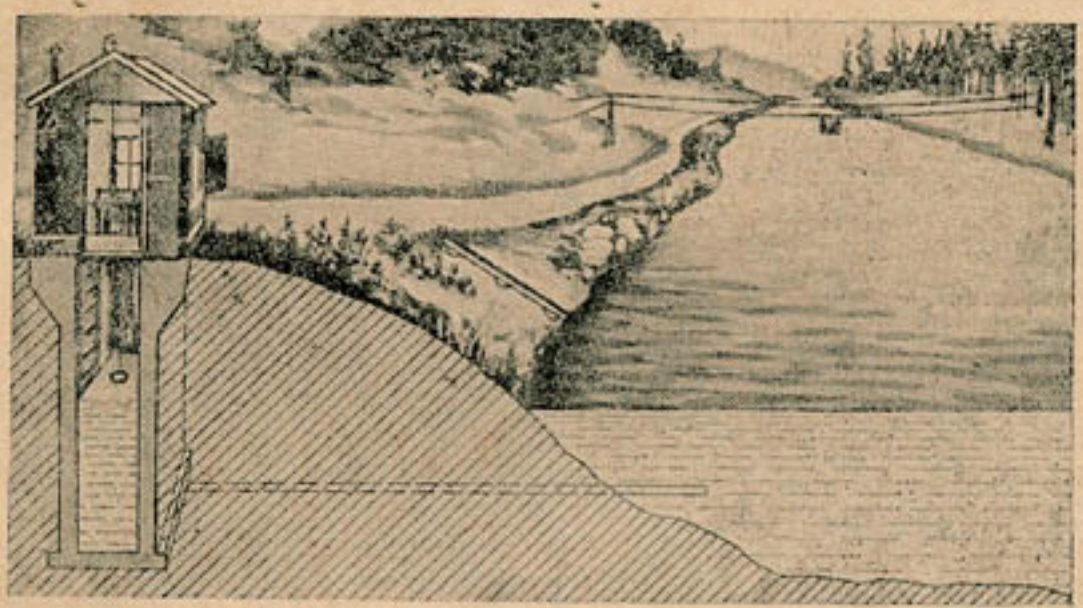
7. Примером лимниграфа, имеющего пневматическую передачу, может служить немецкий лимниграф Зейбт-Фусса (Seibt-Fuess). Схема устройства аппарата следующая (фиг. 39): отправная часть аппарата состоит из колокола *A*, от которого к приемной части идет тонкая гибкая свинцовая трубка. Отправную часть помещают у места наблюдений в колодце, соединенном с рекой.

Приемная часть состоит из двух манометрических трубок u и u_1, наполненных ртутью; в одной из них — более высокой (на фиг. 39 слева) — на поверхности ртути помещен поршенек *S*, несущий штангу *d*; штанга *d* проходит через направляющие обоймицы *bb* и несет на себе рычажок *c* с пишущим пером.

Давление воздуха, изменяющееся в отправном колоколе вследствие колебаний уровней, передается по передаточной трубке *l* через первую манометрическую трубку во вторую; для регулирования количества воздуха в приемном колоколе и в передаточной трубке сбоку помещен насосик *V*, соединенный с передаточной трубкой у места ее присоединения к приемному аппарату помощью особого крана; поворачивая этот кран, можно выключать насосик из общей системы или включать его. Барабан и часовой механизм дополняют аппарат. Наибольшее расстояние, на которое может действовать прибор, около 1 200 *м*. Такие аппараты работают в Германии и Саксонии, правда, в небольшом количестве экземпляров. Аппарат требует довольно тщательного ухода.

8. Советские типы лимнографов начали конструироваться недавно и сколько-нибудь широкого применения у нас пока не получили. Из советских типов можно назвать лимнографы, изготовляемые в Москве (Метприбор).

Отметим, что сотрудниками ГГИ С. В. Воскресенским и В. В. Кузнецовым (1932 г.) сконструирован прибор, дающий возможность автоматически получать по запросу высоту уровня жидкости на расстоянии. Оригинальная идея передачи заключается в отсчете, или записи на ленте, промежутка времени между сигналами от определенного неподвижного контакта и от подвижного контакта, устанавливающегося в соответствии с высотой уровня. Подвижный контакт приводится в движение часовым механизмом, помещенным на приборе; механизм пускается в ход при запросе. Запрос производится индуктором. Сигналы могут приниматься на-слух (через громкоговоритель или наушники) или на ленту самописца. Точность показаний прибора — до 1 *см* (и даже точнее). Испытания прибора показали его надежность при простоте устройства, возможность пользования слабым током, возможность установить несколько приборов на один провод и несколько приемников на один прибор [1].



Фиг. 40. Американская лимнографная будка.

9. Установка лимнографов производится в специально сооружаемых будках.

Примером конструкции, рассчитанной на суровый климат, может служить будка американской установки, показанная на фиг. 40. Такая будка изготовляется из камня, кирпича, бетона или железобетона. Поперечные размеры ее внутри и высота обусловливаются возможностью входа внутрь наблюдателя и могут быть равны 1,50 × 1,80 *м* при высоте около 1,80 *м*.

Для предохранения воды от замерзания (при колодце большого диаметра) в колодце рекомендуется помещать на время холодов пловучую лампу; лучше всего применять широкий и низкий железный резервуар, способный вместить керосин на ряд дней; горелка помещается посредине; вес лампы уравновешивается грузом, пропущенным через блок. В колодцах весьма узкого диаметра, в которых места для лампы не имеется, предохранять воду от замерзания может слой масла, наливаемый в колодец. Также достаточно действительным средством может быть электрическая лампа накаливания, помещаемая вблизи поверхности воды.

10. Необходимой принадлежностью лимнографного поста служит обычный реечный пост, служащий для сверки показаний лимнографа с непосредственными отсчетами по рейке. Проще всего устраивать наклонную рейку, как показано на фиг. 40. Обязательно следует также устана-

[1] Подробное описание этого прибора см. «Известия Государственного гидрологического института», № 52, 1933 г., статья инж. С. В. Воскресенского.

вливать вторую рейку внутри лимниграфной будки, дабы всегда была возможность сравнивать показания уровней воды внутри будки и в свободной реке; несоответствие этих данных обнаружит факт засорения горизонтальной подводящей трубы.

11. Как общее правило, лимнографы требуют тщательного содержания и постоянного контроля за работой отдельных частей своего механизма. В противном случае записи его могут оказаться совершенно неудовлетворительными.

Можно указать такие обычные возможные источники неправильностей и неточностей в работе аппаратов:

1) разница в уровнях в колодце и в свободной реке вследствие засорения подводящей трубы;

2) передача в аппарат случайных подъемов воды от волн при проходе судов, имеющая место при ненадлежащем устройстве приемника;

3) неточная установка пишущего приспособления на барабане;

4) запаздывание передачи изменений уровней в силу инерции передаточного приспособления и при неаккуратном его содержании;

5) ошибки в показаниях часового механизма;

6) несоответствие шкалы времени и высот данным местным условиям;

7) расширение и сжатие бумаги вследствие изменения влажности воздуха;

8) неисправное состояние пишущего приспособления — карандаша или чернильного пера, вследствие чего линии получаются или слишком слабыми или слишком толстыми и размазанными.

Расширение и сжатие бумаги, не влияющие на результаты только в лимниграфах, печатающих значения уровня в виде цифр, может быть предотвращено помещением в ящик, покрывающий прибор, куска камфары или другого поглощающего влагу вещества.

12. В целях уверенности в исправном действии аппарата и для соответствия его показаний действительности работа лимниграфа должна периодически поверяться специально назначенным лицом; это лицо производит, кроме того, смену бумаги и заводку механизма аппарата. Наблюдающему лицу полезно иметь особую книжку, куда оно должно вносить результаты своих осмотров работы аппарата. Кроме того, на лимниграммах — в соответствующем месте их — при каждом посещении установки должны делаться отметки такого рода: дата и точный час закладки данного листа бумаги; высота уровня воды в реке в тот же момент, определенная по реечному водомерному посту; высота воды в колодце; замечания о ходе часов (опаздывают или спешат и насколько) и, наконец, подпись осматривающего лица.

Лимниграфные установки применяются у нас в очень небольшом количестве ввиду отсутствия заведений, изготовляющих их в массовом масштабе, и высокой стоимости лимниграфов при условии импорта их из-за границы.

§ 30. Выбор типа поста

Выбор типа поста определяется следующими обстоятельствами: 1) назначением поста; 2) режимом реки; 3) соображениями о требуемой точности; 4) соображениями о требуемой прочности и долговечности, простоте и стоимости устройства; 5) местными условиями.

Простые посты с их срочными наблюдениями целесообразны в огромном большинстве случаев в условиях наших равнинных рек, с относительно медленно изменяющимися уровнями, особенно для целей изучения только лишь бытовых уровней.

Лимнографы крайне желательны в следующих случаях:

1. На реках с искусственно регулируемым стоком, где срочные наблюдения в установленные часы не характеризуют всех колебаний уровня, имеющих иногда чрезвычайно изменчивый характер в зависимости от работы вододействующих установок.

2. На реках с ледниковым питанием для точного учета суточного хода.

3. Для учета нагонных и приливо-отливных явлений в устьях рек.

Кроме того, лимнографы желательны.

4. Для записи кратковременных, но мощных паводочных явлений и интенсивных подъемов уровней при половодьи.

5. В случаях требований повышенной точности в смысле сроков наблюдений или высоты уровней (например, на стоковых станциях).

6. В случаях малонаселенности района, в котором находится изучаемая река, и отдаленности пункта наблюдений от жилья.

7. Для постов для целей предсказаний как для возможности более детального изучения паводочных и половодных явлений, так для скорейшей передачи уровней в соответствующую службу предсказаний (дальнодействующие лимнографы).

В случае отсутствия лимнографа в ряде перечисленных выше случаев весьма полезной может оказаться дополнительная к простому посту установка максимально-минимальных реек; таковы названные выше случаи (1), (2), (3), (4), (6) и (7).

В этих случаях при трех срочных наблюдениях в сутки по простому водомерному посту (H_7, H_{19} — в 7 час. утра и в 7 час. вечера за данный день и H'_7 — в 7 час. утра следующего дня), при двух показаниях минимально-максимальной рейки (H_{max} и H_{min}), среднесуточный уровень $H_{ср}$ может быть вычислен по формуле:

$$H_{ср} = \frac{H_{max} + H_{min} + H_7 + H_{19} + H'_7}{5}. \qquad (9)$$

По сравнению с вычислением среднесуточного уровня по одним лишь срочным наблюдениям указанным способом могут быть получены иной раз весьма существенные уточнения.

Из типов постов без непрерывной записи последовательный порядок наиболее удобных типов, вообще говоря, независимо от местных условий можно считать таким:

1) реечный пост вертикальный;
2) реечный пост наклонный;
3) свайный пост;
4) передаточный пост.

Реечный пост является наиболее целесообразным, ибо он является наиболее дешевым и наиболее простым как по устройству, так и по способам наблюдений, но только при условии наличия готовых искусственных сооружений у предположенного места наблюдений. Весьма удобно устраивать реечный пост в скалистых берегах (вечный пост) путем зарубок в скале.

Реечный пост наклонный целесообразен только при наличии неизменяемых укрепленных берегов, имеющихся обычно (в условиях равнинных рек) на регулированных участках рек; этим можно объяснить довольно широкое распространение этого типа поста за границей и весьма редкие случаи его применения у нас. Иным случаем предпочтительного применения наклонной рейки можно считать быстрые горные реки со скоростями течения больше 3 *м/сек* и со склонами берегов средней крутизны; в этих случаях наблюдения по свайному посту выполнять затруднительно вследствие трудности удержания переносной рейки в вертикальном положении и из-за значительной величины местного напора на поставленную рейку.

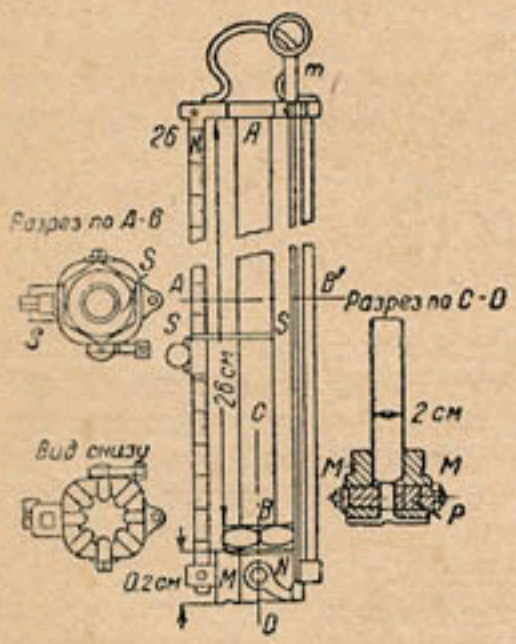
Во всех иных случаях целесообразно устраивать свайные посты; таким образом в условиях СССР эти последние посты являются наиболее распространенными. Можно отметить, что при наличии в свайном посту большого числа свай, трудность их отыскания под водой может служить, как показывает практика, источником крупных и многочисленных ошибок.

Целесообразные случаи устройства передаточных постов были приведены в § 27.

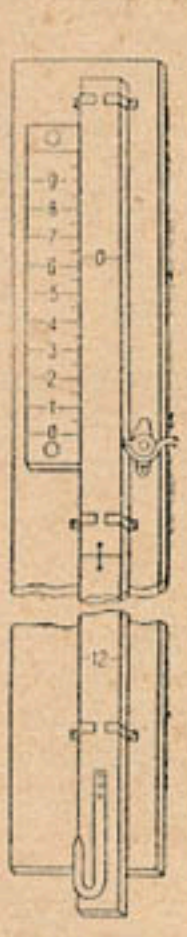
Указанные выше требования имеют в виду постоянные посты. Для постов временных и передвижных соображения простоты устройства являются основными; в таких случаях применяют обычно реечные посты или для случаев непрерывных записей — переносные лимнографы (§ 31).

§ 31. Приспособления для уточнения отсчетов

1. Кроме переносных реек, о которых говорилось выше, для более точного измерения уровней применяются особые конструкции измерительных приспособлений. Таков, например, измеритель инж. Соколова (фиг. 41). Он состоит из стеклянной трубки высотой в 26 *см* и диаметром в 2 *см*, вделанной в медную оправу. На одной из двух стоек имеется шкала с делениями в 2 *мм*. На шкале имеется передвижной индекс с зажимным винтом. С индексом скреплена вилка, охватывающая трубку и свободно по ней скользящая. Внизу оправы стеклянной трубки имеется кран, управляемый особой тягой сверху. Поставив прибор на головку сваи, открывают кран. Вода поднимается в трубке на высоту уровня воды в водотоке или водоеме. Когда колебание воды в трубке затихнет, кран закрывают, и, сняв прибор со сваи, устанавливают вилку индекса так, чтобы ее верхний край был на высоте нижней поверхности мениска. Отсчет по индексу дает высоту уровня над сваей. Точность отсчета весьма высокая, до 1 *мм*.

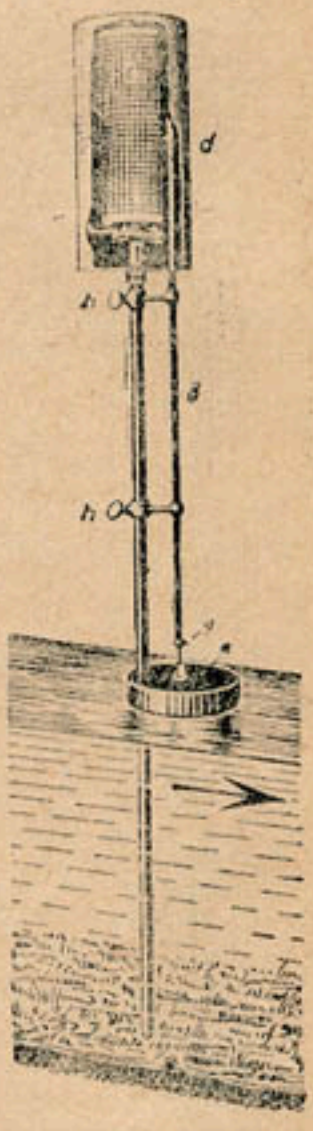


Фиг. 41. Измеритель Соколова.



Фиг. 42. Крючковая рейка.

Фиг. 43. Крючковая рейка — иной тип.



Фиг. 44. Переносный лимниграф.

При сильном волнении стараются уловить верхнюю и нижнюю части волны, повторяя измерение несколько раз; тогда среднее из всех измерений дает величину высоты уровня над сваей; в этом случае можно также применить для отсчета успокоительный ящик.

2. В Америке для точных отсчетов применяют крючковые рейки с верньерами. Один из таких типов показан на фиг. 42 и состоит из основной планки, в пазах которой ходит измерительная линейка с крючком на конце; линейка размечена на футы, идущие сверху вниз. На основной планке помещен верньер, позволяющий делать отсчеты с точностью до 0,01 фута (около 3 *мм*). Для производства измерений основная планка устанавливается на сваю (или другой предмет, по отношению к которому желательно измерить имеющийся уровень), а подвижная измерительная линейка поднимается вверх до тех пор, пока конец крючка не совпадет с поверхностью воды.

Фиг. 43 дает общий вид другой конструкции подобного рода; здесь неподвижным упором служит пластина (с овальными дырами в ней для возможности

прикрепления к свае, стене и т. п.), в обойме которой ходит размеченная штанга с крючком на конце; штанге может быть придано движение и при помощи микрометренного винта, который показан вверху. Верньер, помещенный между упорными пластинками, позволяет делать отсчеты с точностью до 0,001 фута (около 0,3 *мм*). Прибор сделан из никелированной стали и имеет общую длину около 2,3 фута, причем длина крюка может быть изменена также на 1 фут; прибор этот служит, главным образом, для измерений толщины слоя воды, переливающейся через водосливы.

3. Для уточнения измерений уровней путем непрерывной их записи в условиях временных наблюдений служат переносные лимнографы. Подобная конструкция фирмы Отта показана на фиг. 44.

Барабан и поплавок с соединительной штангочкой могут быть установлены на любой высоте основной штанги. Колебания уровней записываются в натуральную величину, без искажения.

ГЛАВА VI

РЕПЕРЫ

§ 32. Общие требования к реперам и виды последних

Реперы устанавливаются на водомерных постах в качестве тех неизменных по высоте точек, с которыми всегда можно было бы сверять неизменность положения свай и реек водомерного поста; последние, будучи расположены в русле реки или в непосредственной близости от реки, могут подвергаться всяким повреждениям или перемещениям, вызываемым оползнями, выпучиванием берегов, размывами, ледоходом, ударами судов и т. п. Выше указывалось (§ 16), что на каждом водомерном посту должно быть установлено не менее двух реперов; один из них должен находиться в удалении от возможной границы затопления не менее чем на 5—10 *м*.

При гидрометрических створах, устроенных удаленно от водомерного поста, кроме реперов указанного выше назначения реперы устраиваются также для поверки неизменности планового расположения створных знаков. В отличие от реперов высотных таковые реперы носят название плановых.

Реперы по прочности и долговечности можно разделить на: 1) постоянные — каменные, бетонные, чугунные и 2) временные — обычно деревянные. Первые служат неопределенно долгое время; вторые при надлежащем устройстве могут служить до 10 лет и более.

По условиям времени большей частью приходится ограничиваться установкой временных реперов. Однако при какой-либо возможности применить более надежные типы реперов таковая должна быть использована для установки хотя бы одного из реперов по типу постоянных; второй репер может быть сделан временного типа.

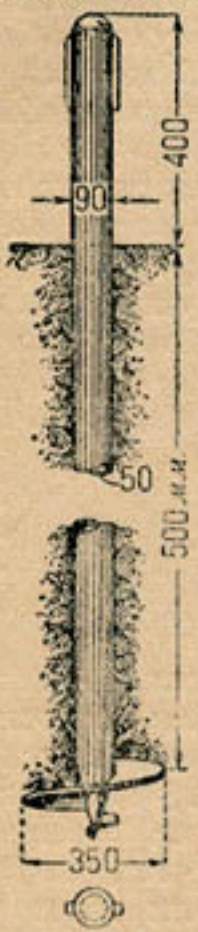
Особенно необходима установка двух постоянных реперов в постах реечного типа; в свайных постах верхние сваи сравнительно редко испытывают повреждения и могут служить такими же опорными точками, как и реперы.

В целях наилучшего удовлетворения своему назначению реперы должны быть: 1) совершенно неподвижными и неизменными; 2) прочными, а следовательно, долговечными; 3) по бытовым условиям — достаточно укрытыми от постороннего глаза, но вместе с тем легко доступными при связке с ними.

Для установки реперов следует выбирать место, вполне обеспеченное от подмыва и разрушений; следует иметь в виду в этом отношении опасности от прохода высоких вод, от выносов из оврагов и пр. Если русло реки имеет не вполне устойчивый характер, следует удалять реперы от бровки берега на достаточное расстояние; также следует избегать ставить реперы в непосредственной близости от дорог, бечевника и т. п.

Все реперы должны быть снабжены надписью, указывающей учреждение или ведомство, поставившее репер, год постановки и номер репера.

В целях обеспечения лучшей сохранности реперов о постановке их должны ставиться в известность ближайшие местные власти с указанием на неприкосновенность репера наравне с государственными межевыми знаками.



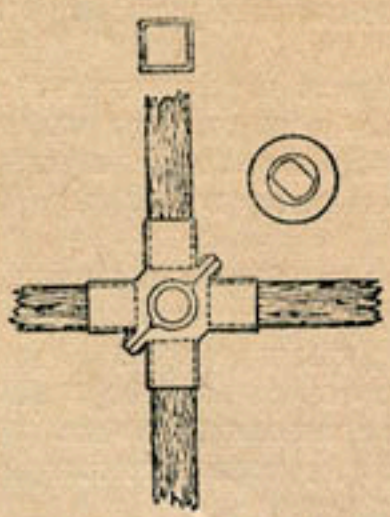
Фиг. 45. Чугунный винтовой репер.

§ 33. Постоянные реперы

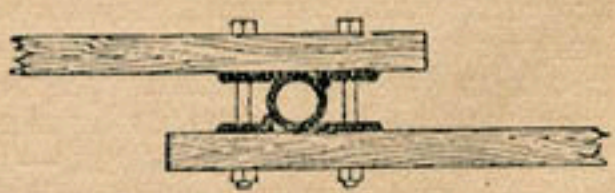
1. Удобным типом постоянного репера следует считать чугунные винтовые сваи[1], изготовляемые заводским способом (фиг. 45); это — полый чугунный цилиндр диаметром 75—100 *мм* при толщине стенок 13—20 *мм* и длине около 3 *м*; вес такого репера — около 140 *кг*; вдоль цилиндрического тела сваи расположены две противолежащие реборды (выступы) сечением 13 × 13 *мм*, предназначенные для упора ключа при завинчивании сваи в грунт. В нижней части цилиндр имеет шейку длиной 60 *мм*; на эту шейку надевается чугунный конический башмак с винтовой лопастью; башмак этот в случае завинчивания сваи в грунт закрепляется на шейке при помощи железной чеки, заклепываемой наглухо; сваи, впрочем, могут отливаться и вместе с винтовым наконечником. Завинчивание сваи производится посредством особого ключа и аншпугов; ключ состоит (фиг. 46) из двух свинчивающихся половинок чугунной отлитой муфты с гнездами, в которые и закладываются деревянные аншпуги; муфта имеет внутри для захватывания реборд сваи особые гнезда. Упрощенный ключ (фиг. 47) состоит из двух аншпугов, свинчивающихся концами около тела сваи посредством двух болтов; в предупреждение смятия дерева между сваей и концами аншпугов кладутся листовые железные прокладки. При отсутствии специального ключа таковой может быть заменен прочным укреплением аншпугов непосредственно к свае при помощи прочной железной цепи. По завинчивании в грунт свая покрывается крышкой или может быть засыпана внутри песком и залита цементом, с укреплением в последнем металлической марки.

2. При твердых каменистых грунтах применяют чугунные колонны с плоскими поддонами. Возможно изготовлять постоянные реперы из старых рельсов; в этом случае следует обращать внимание на прочную заделку нижнего конца и обделку верхнего, желательно — сферической формы.

3. Каменные или бетонные реперы представляют собой сделанные из соответствующего материала — каменной или кирпичной кладки или из бетона — столбы шириной 0,5—0,7 *м*, зарытые в грунт ниже его промерзания, т. е. не менее 1,6—2,0 *м*, и выступающие над поверхностью земли на 0,20—0,30 *м*.



Фиг. 46. Ключ для завинчивания репера.



Фиг. 47. Упрощенный ключ для завинчивания репера.

Следует иметь в виду, что столбы подвержены выпучиванию в большей степени, чем массивные здания; поэтому в случае глинистых грунтов глубину заложения каменных столбов следует увеличивать до 2,00—2,50 *м*. Так как обыч-

[1] При массовом устройстве реперов следует соблюдать экономию металла и выбирать такие типы их, на которые расходуется меньше металла.

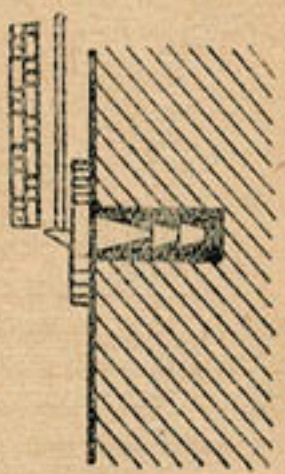
ным видом разрушения репера является умышленная разломка или естественное выветривание верхней части столба, то обычно в центре столба заделывают железный штырь диаметром в 25—30 *см* или обрезок рельса, фасонного железа и т. п. с зажатым внизу концом; в целях предохранения от разрушения и выветривания также следует делать закругленными все наружные грани столбов. К верхней части штыря обычно приделывается наглухо чугунная отливка, круглая в плане, на которой помещаются номер репера, год и наименование учреждения. Если каменные реперы устраиваются в солончаковой почве и вообще в местах, где можно ожидать наличия минерализованной грунтовой воды, то следует применять для кладки реперов специальные сорта цемента, так называемые пуццолановые или шлаковые, каковые являются более устойчивыми.

4. В местностях со скалистым грунтом репером может служить прочный выступ скалы, на котором вытесываются место для установки рейки и соответствующие обозначения. Каменные и бетонные реперы удобно изготовлять только при наличии потребных материалов в районе места установки; в отношении удобств перевозки металлические реперы, как более легкие и компактные, представляют преимущество.

§ 34. Реперные марки и потайные реперы

В качестве реперов могут служить также различные монолитные прочные и долговечные сооружения или части их, например, устои мостов, цоколи больших зданий, стены шлюзов; для обозначения на этих сооружениях той точки, которая является репером, применяются особые чугунные или железные м а р к и. Обычно марки состоят из двух частей: лицевой (собственно марки) и хвостовой. Разных форм марок имеется очень много.

Лицевая часть представляет собой чугунные круглые диски диаметром от 100 до 175 *мм* и толщиной около 15—20 *мм*; хвост имеет длину от 125 до 200 *мм* в виде конуса или заершенного стержня (фиг. 48).



Фиг. 48. Реперная марка.

На дисковой части помещаются надпись и номер марки, а в центре ее отливается или шарообразная выпуклость или ступенька в виде кронштейна. В первом случае нивелируется центр пересечения двух перпендикулярных линий — насечек на шаровидной поверхности. Во втором случае (фиг. 48) рейка ставится непосредственно на выступ.

Хвост марок лучше делать из железа; заделка хвоста производится путем заливки свинцом или цементом; углубление в каменной стене выдалбливается посредством стального бура.

Заделка реперных марок почти заподлицо с поверхностью сооружения и возможность их установки на высоте выше человеческого роста делают этот вид реперов весьма надежным в отношении сохранности.

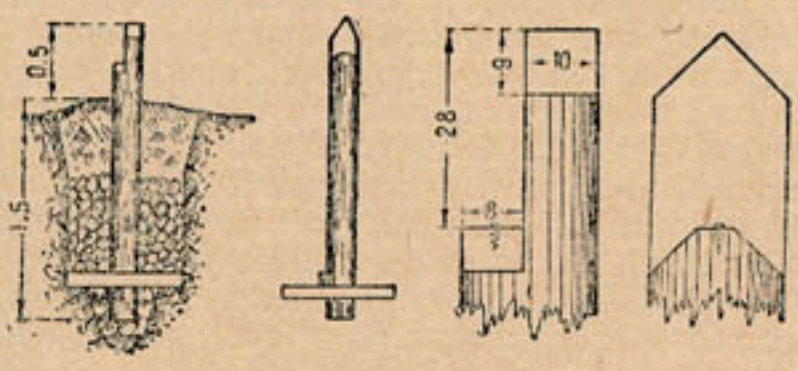
Упомянем еще о п о т а й н ы х р е п е р а х, представляющих собой высотные, прочно укрепленные, точки, скрываемые от взоров посторонних наблюдателей путем закапывания их в землю обычно на глубину не меньше 1 *м*. Установка потайного репера желательна во всех тех случаях, когда обычному реперу может угрожать опасность со стороны населения; установка потайного репера желательна также в случаях закрытия поста на неопределенный срок.

§ 35. Временные реперы

Временные реперы изготовляются в виде: 1) деревянных столбов, 2) заершенных штырей. Временные д е р е в я н н ы е р е п е р ы изготовляются, по возможности, из прочных древесных пород (дуб или бук); толщина берется не менее 20 *см* при длине около $2^1/_2$ *м*; внизу врубается крестовина; вся часть, предназначенная к засыпке в земле, обмазывается смолой или дегтем или обугливается. В земле репер устанавливается на булыжные камни или кирпичи. Верхушка репера срезывается скатами, чтобы не задерживалась дождевая вода. Несколько ниже делается совершенно горизонтальный пропил, и часть верхушки

скалывается до пропила. На вертикальной площадке сруба ставится знак репера, а на горизонтальной вбивается широкошляпный заершенный гвоздь; шляпка этого гвоздя служит нивелировочной точкой для установки на ней рейки.

Общий вид такого репера и его установки показан на фиг. 49.



Фиг. 49. Репер деревянный.

Фиг. 50. Железный штырь.

Заершенные штыри могут быть изготовлены в любой кузнице и могут иметь следующие средние размеры: длина около 20 *см*, толщина шляпки 2 *см*, диаметр шляпки 4 *см*; примерная форма штыря показана на фиг. 50. Такие штыри забиваются обычно в деревянные, а иногда в каменные здания, причем нужные обозначения наносятся вблизи (при них) краской или высечкой.

ГЛАВА VII

ПОСТАНОВКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАБЛЮДЕНИЙ НА ПОСТАХ

§ 36. Составление технического списка. Контрольный журнал

1. После того как на выбранном месте устроен водомерный пост того или иного типа, отвечающий целям наблюдений и данным местным условиям, выполняется двойная нивелировка постовых устройств (см. выше § 22), а также измеряются все расстояния, определяющие положение отдельных элементов водомерного поста в плане.

Заканчивается работа по устройству водомерного поста составлением подробного технического описания водомерного поста и места его расположения; это описание носит название технического списка[1]. Технический список является основным документом поста и должен содержать все сведения как о водомерном посте, так и об участке реки, на котором пост расположен. Формы технических списков в печатном виде имеются обычно в центральных гидрологических учреждениях (см. приложение 2). В технический список вносятся подробные данные о местоположении поста — название пункта, расстояние его от ближайшего населенного места, от ближайшей железнодорожной станции, пристани и почтово-телеграфной конторы; далее — описание характерных черт режима реки; описание участка реки в районе поста: наличие или отсутствие вблизи мельниц, мостов, островов; характер русла, ширина, глубина при высоких водах и низких, строение и покров берегов, характеристика дна реки; описание неблагоприятствующих наблюдениям условий, если таковые имеются, и т. д. В технический список вносятся также результаты промеров участка и дается поперечный профиль реки по створу водомерного поста, схематический план реки в районе расположения поста и план части реки непосредственно у поста с нанесением на последнем горизонталей и изобат и с показанием расположения водомерного поста с номерами свай или реек. Далее, подробно описываются устроенный пост и отдельные его части, в частности, особо исчерпывающие данные должны

[1] По принятому Государственным гидрологическим институтом порядку для каждого водомерного поста составляются два технических списка: один для гидрометрической службы и другой — для водомерного наблюдателя.

быть даны о реперах; указываются размеры, материал и способ установки свай или реек и реперов, их номера, взаимное превышение и принятые для них отметки. К такому описанию прикладывается схематический профильный чертеж поста с нанесением на нем отдельных свай с их номерами, реперов и горизонтов воды в день устройства поста, самого высокого из наблюдавшихся и самого низкого возможного; под профилем подписываются отметки свай и реперов. Далее, указываются установленные содержание и характер наблюдений, частота и сроки их. Наконец, в техническом списке помещается ведомость для последующих записей всех повреждений и исправлений водомерных устройств и новых отметок последних.

2. По инструкциям ГУГМС для каждого водомерного поста составляется также особый контрольный журнал, который хранится у техника, которому поручено наблюдение за работой поста.

В контрольном журнале помещаются основные сведения о водомерном посте и программе его работы и имеются листы для контрольных нивелировок и для отметок о поверках и ходе наблюдений.

§ 37. Постановка наблюдений

В постановку наблюдений на водомерном посту входит:

I. Установление точности, частоты и сроков наблюдений.
II. Установление объема наблюдений.
III. Назначение и инструктирование наблюдателя.
IV. Оборудование поста.
V. Снабжение поста.
VI. Оформление открытия поста.

I. Точность наблюдений. Точность наблюдений должна отвечать назначению поста и особенностям режима реки; с точностью отсчетов связаны частота наблюдений и сроки последних.

Нормальной точностью наблюдений за уровнями является точность до 0,5 *см* (т. е. отсчеты в целых сантиметрах).

В соответствии с тем или иным назначением водомерных постов нормальная точность измерений уровней может оказаться недостаточной. Такими случаями являются:

а) Парные уклонные посты, расстояние между которыми таково, что падение уровней между ними меньше 5 *см*; в этих случаях уровни должны измеряться с такой точностью, чтобы ошибки в вычислении падений были не больше 10% в самом невыгодном случае —складывания одноименных ошибок на обоих постах. Так, например, при падении в 2 *см* точность отсчетов уровней должна быть не меньше 1 *мм*. Требуемая точность достигается применением соответствующих приспособлений (§ 31).

б) Расходные посты могут также требовать повышения точности в отсчетах уровней или для всех уровней или только для некоторых амплитуд. Степень точности в этих случаях, вообще говоря, должна подчиняться таким условиям: 1) чтобы допускаемые в измерениях уровней погрешности не давали бы недопустимо больших погрешностей в вычислениях расходов по кривым расходов (более значительных, чем 2—3%), и 2) чтобы погрешности в уровнях давали бы в вычислениях расходов приблизительно одинаковые погрешности.

Частота наблюдений, а также сроки наблюдений, как указывалось, непосредственно связаны с точностью измерений уровней. Понятно, что достаточно точные измерения уровней, но недостаточно частые, не достигают той цели, которой эти измерения вызываются. Поэтому на надлежащую частоту наблюдений следует обращать особое внимание.

В этом отношении нужно считаться прежде всего с суточной амплитудой возможных колебаний и характером этих колебаний.

а) Нормальной частотой для равнинных рек на уровенных постах считаются наблюдения 1 раз в сутки — в 7 час. утра [1] по поясному времени при

[1] Зимой допускается перенос этого срока наблюдений на 1 час в ту или иную сторону;

более частых сроках в период весенних и паводочных подъемов и при дополнительных наблюдениях в 19 час. при требованиях повышенной точности.

б) На расходных постах и реках с постоянными закономерными или незакономерными суточными изменениями уровней (ледниковое и снеговое питание, устьевые участки приливных рек, реки с искусственно искаженным вододействующими заведениями режимом) крайне желательны непрерывные лимниграфные записи, как об этом было сказано в § 30. В случае отсутствия лимнирафов на реках с закономерными регулярными изменениями уровней нужны не менее чем троекратные или четырехкратные суточные измерения уровней, часы этих измерений (дополнительные к 7 час. утра) могут быть установлены эмпирическим путем на основе изучения серии пробных почасовых наблюдений в течение суток, повторяемых в течение различных сезонов года. На расходных постах рек с искусственно искаженным (вододействующими заведениями) режимом единственным правильным решением может быть лимниграф, так как никакими частыми срочными наблюдениями нельзя охватить всех могущих быть изменений уровней; компромиссным решением является установка максимально-минимальных реек (§ 30). Для равнинных рек, на расходных постах, достаточны бывают обычно двукратные наблюдения (7 час. и 19 час.) или даже однократные, но при дополнительных наблюдениях в период половодий и паводков. В зимний период частота должна быть такая же, как и в летний.

в) На уклонных парных постах наблюдения должны производиться точно в один и тот же момент; частота устанавливается применительно к постам уровенным.

г) На постах для целей предсказаний учащенные сроки наблюдений (если нет лимниграфов) необходимы при всяких более или менее значительных подъемах в зависимости от местных условий и требований; при подъемах в период половодья и сильных паводков могут быть целесообразными и необходимыми даже почасовые наблюдения.

д) На постах специального назначения частота и точность наблюдений определяются специальными заданиями.

II. Объем наблюдений. Объем наблюдений, помимо измерений уровней на расходных и уровенных водомерных постах, складывается из наблюдений за следующими элементами режима реки и сопутствующих последнему явлений: 1) температура воды; 2) температура воздуха; 3) мутность (в случаях заметного на-глаз наличия взвешенных наносов); 4) волнение; 5) ветер; 6) осадки; 7) продолжительность осадков; 8) водная растительность (в случае ее наличия); 9) облачность в зимнюю половину года; 10) все характерные явления, связанные с переходом реки на зимний режим в осенне-зимний период и ледовыми явлениями в зимний и зимне-весенний периоды.

Из перечисленных элементов волнение и ветер отмечаются на простых постах как факторы, влияющие на точность записей уровней, а остальные элементы характеризуют или реку или гидрометеорологическую обстановку режима реки; последние наблюдения целесообразны лишь в случае отсутствия поблизости метеорологических станций. Все эти элементы (кроме ледовых характеристик и температур) оцениваются в условной пятибалльной оценке. На судоходных и сплавных реках отмечается, кроме вышеуказанного, время прохода первых и последних судов и плотов.

На иных постах, кроме расходных и уровенных, комплекс добавочных перечисленных выше элементов, подлежащих наблюдению и оценке, может быть несколько сокращен по указаниям руководящих органов; в общем случае такое сокращение нежелательно.

III. Назначение и инструктирование наблюдателя. Наблюдения на простых постах поручаются наблюдателю из числа местных жителей, рекомендованных сельсоветом.

Наблюдатель должен быть выбран достаточно грамотный, толковый и, самое главное, вполне добросовестный; на случай болезни его или неотложных дел необходимо убедиться в возможности его временной замены кем-либо из

состава его семьи. Наблюдателю должно быть указано, что в случае пропуска им порученных ему измерений по независящим от него обстоятельствам, он ни в коем случае не должен записывать выдумываемые им цифры вместо действительных; в этом случае лучше ничего не писать, чем давать недобросовестные фиктивные данные, за которые он подлежит суду как за вредительство. Наблюдатель должен быть надлежащим образом проинструктирован; ему должны быть точно и подробно объяснены его обязанности: сроки измерений, способы производства измерений, порядок записей и их пересылки в гидрометрическое учреждение.

После инструктирования должно быть обязательно проверено на деле, правильно ли усвоил наблюдатель преподанные ему правила. Наблюдателю также должно быть указано, что он должен делать в случае повреждения поста или реперов и т. д. Кроме словесных указаний наблюдателю должна быть дана подробная письменная (или печатная) инструкция. Ему же вручается также технический список поста — сокращенный и копия подробного; последний предъявляется наблюдателем поверяющему пост персоналу.

IV. Оборудование поста. Одним из важных условий правильной работы простого водомерного поста является устройство приспособлений, облегчающих подход к сваям или рейкам (для простых постов) в случае отсутствия лодки. Полезно для этой цели рядом со сваями поста забивать нетолстые свайки для устройства на них сходней к сваям; эти мостики-сходни могут перекладываться по мере измерений горизонтов. Возможно также устройство переносных козел, которые устанавливаются в воде около свай, служа опорой для одного конца мостков, второй конец коих кладется просто на откос берега. Рационально устраивать подходы к сваям так, чтобы верхний настил сходней (обычно одна доска или пара скрепленных вместе жердей) мог укладываться на опоры лишь на время производства измерений и убираться куда-либо на остальное время; этим достигается обеспечение поста и мостков, важное при его близости к населенному пункту, от использования их местными жителями для своих хозяйственных потребностей (мойка белья, рыбная ловля).

V. Снабжение поста. Для бесперебойной работы водомерного поста необходимо снабжение наблюдателя всеми потребными ему для наблюдений предметами. Таковыми являются: 1) часы; 2) календарь; 3) уровень (ватерпас) для производства ватерпасовки; 4) рейка длиной 2—5 *м* для производства ватерпасовки; 5) рейка водомерная переносная (для свайных постов); 6) фонарь для вечерних наблюдений; 7) пешня для околки льда зимой, представляющая собой железный с закаленным концом ломик весом 1—2 *кг*, с раструбом, в который вставляется палка-рукоятка; 8) багор для нащупывания свай, находящихся под водой; 9) лопата; 10) топор; 11) ледомерные рейки; 12) шугомерные рейки; 13) термометр-пращ (для измерения температур воздуха); 14) термометр водный; 15) лодка с принадлежностями — при наличии условий затруднительного подхода к сваям прямо с берега; 16) комплект из полевых книжек и журнала (настольной книжки), инструкция по наблюдениям, технический список; 17) необходимые канцелярские принадлежности: химический карандаш или чернила с ручкой и перьями (применение резинки не допускается); 18) полезно иметь запасные сваи для свайных водомерных постов и запасные рейки с винтами для их укрепления для реечных постов.

VI. Оформление открытия поста осуществляется составлением в присутствии водомерного наблюдателя и представителя местных властей акта об открытии поста; акт составляется в трех экземплярах, из коих один оставляется наблюдателю, второй передается в сельсовет или райсовет для обеспечения содействия по охране постовых устройств, а третий передается в организацию, которой принадлежит пост. С наблюдателем заключается трудовой договор, заверяемый сельсоветом, и ему передаются по описи все постовые устройства и инвентарь.

§ 38. Уход за постом

Наблюдатель должен быть поставлен в известность о том, как он должен поступать в отдельных возможных случаях нарушения обычных условий наблюдения.

При снижении воды в реке ниже самой низкой сваи (или обмелении последнего деления рейки) наблюдатель обязан прокопать канавку от воды к свае или рейке для того, чтобы вода могла доходить до нее; в этом случае измеряется, насколько уровень воды стоит н и ж е головки сваи или нуля рейки; к произведенному отсчету приписывается буква *Н* — (ниже) или же ставится знак минус, и цифра обводится кружком. В случае невозможности выйти таким образом из затруднения наблюдатель обязан забить дополнительную сваю (или хотя бы временную свайку — прочный забитый кол), связав ее ватерпасовкой с ближайшей следующей сваей, и производить наблюдения по ней. В случае подъема воды выше самой высокой сваи (или рейки) должен быть установлен дополнительный пункт измерений и по возможности связан с имеющимися. Точно так же должен поступать наблюдатель в случае повреждения сваи или рейки; если возможно, то в таких случаях полезно связать установленную дополнительную сваю с какой-либо из имеющихся путем одновременных наблюдений; последние должны быть выполнены не менее трех раз при разных уровнях.

Во всех таких случаях о происшедшем наблюдатель обязан известить лицо, которому он подчиняется в своей работе, для принятия мер к устранению указанных возможностей в будущем и для поверочной нивелировки установленных наблюдателем временных знаков. Дата повреждения, причины его и дата исправления должны быть точно записаны в полевой и настольной книгах.

Расходы по экстренным случаям работ, без которых дальнейшее правильное действие водомерного поста невозможно, могут быть производимы самим наблюдателем с сообщением об этом немедленно же в соответствующее учреждение или соответственному лицу.

Летом наблюдатель должен осторожно удалять со свай и реек как наносы, так и посторонние застрявшие предметы.

Зимой следует производить околку льда около ближайших к поверхности льда свай, не давая возможности образоваться около них толстому ледяному слою и предупреждая этим изменение первоначального положения свай при поднятии льда весной.

§ 39. Производство наблюдений в период отсутствия льда

Перечень обычных наблюдений в дополнение к наблюдениям за уровнями в период отсутствия льда был приведен выше, в § 37.

1. Для производства н а б л ю д е н и й з а у р о в н я м и на свайном водомерном посту переносная водомерная рейка ставится на сваю, покрытую водой и расположенную выше остальных, покрытых водой; нулевое деление рейки при этом должно находиться внизу. Перед производством отсчета наблюдатель должен убедиться в том, ставит ли он рейку действительно на сваю, а не на камень или какой-нибудь другой предмет, и не покрыта ли свая слоем наноса; в этом можно убедиться по звуку при ударе металлической оковки рейки о гвоздь сваи.

Рейку необходимо ставить узкой гранью против течения. При тихой воде — читать то деление, которое приходится в уровень с водой; если на реке есть волнение, то следует заметить деление рейки, до которого доходят гребни волн, а также самое низкое деление после ухода волны, и взять среднее из обоих показаний. В книжку наблюдатель записывает номер сваи и сделанный отсчет по рейке (§ 41).

При реечном типе поста наблюдения уровней выполняются путем прочитывания того отсчета на рейке, до которого доходит уровень воды; при волнении поступают аналогично сказанному выше.

На постах с нормальной точностью (§ 37) отсчеты делаются с округлением до ближайшего целого сантиметра, или при излишке ровно в 0,5 — до ближайшего четного числа.

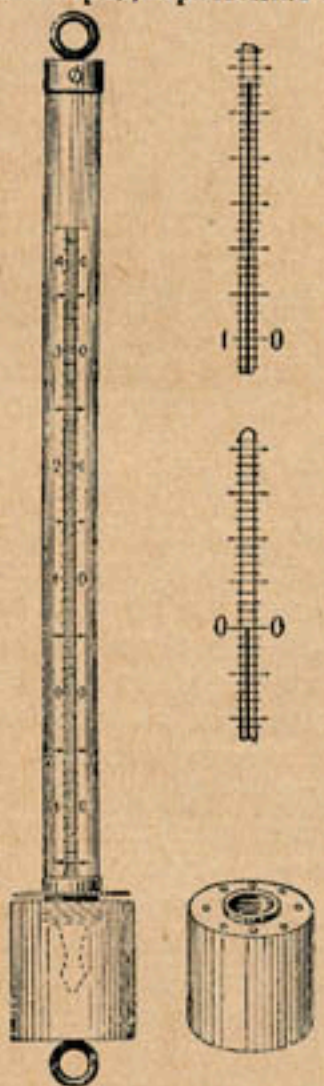
2. Выполнение н а б л ю д е н и й з а т е м п е р а т у р о ю в о д ы и в о з д у х а производится при помощи специальных термометров. Температура воды и воздуха особенно интересна в связи с наблюдениями над зимним режимом реки.

Измерение температуры воды производится всегда в одном и том же месте, выбранном на быстрых струях реки (но не в заводи или в заливе). Тип применяемых термометров показан на фиг. 51.

Шкала этих термометров поделена на 0,1 или 0,2° и имеет деления, начиная от —3 или —2°. Нижний конец термометра помещен в металлическую оправу с небольшими отверстиями; назначение оправы кроме предохранения термометра от повреждения — задерживать вокруг головки термометра во время отсчета воду из места наблюдения, дабы предотвратить неправильность показания от действия температуры воздуха.

Термометр при помощи бечевы, продеваемой в ушко вверху, опускается в воду так, чтобы вода покрыла оправу и весь термометр, и держится в воде около 3 мин.; при отсчете конец ртутного столбика должен находиться на уровне глаз отсчитывающего. Отсчет делается с точностью до 0,1°.

Отметим, что для точных измерений температур воды на глубоких водоемах и реках применяют специальные конструкции так называемых опрокидывающихся термометров Негретти-Замбра или Рихтера. В этих термометрах (фиг. 52) трубка вблизи резервуара ртути сужена и изогнута в виде крючкообразного капилляра; термометр опускается в воду в нужную точку на тросе в особой раме и затем, по истечении около 10 мин., опрокидывается при помощи посыльного груза, опускаемого по тросу и приводящего в действие поворотную пружину; тогда резервуар с ртутью переходит наверх, а столбик ртути отрывается в месте сужения и падает вниз. Температура в точке измерений определяется по высоте оторвавшегося столбика ртути, причем в это показание вводится еще поправка по находящемуся в той же оправе второму так называемому коррекционному термометру, учитывающему изменения температуры с момента измерения по момент отсчета. Точность показаний новейших опрокидывающихся термометров Рихтера до 0,02°.



Фиг. 51. Водяной термометр.

Фиг. 52. Термометр Рихтера.

3. Измерение температуры воздуха производится в тени обычными пращевыми термометрами по типу тех, которые применяются при барометрической нивелировке. Термометр надо вращать минуты 2—3; отсчеты делаются возможно быстрее, не прикасаясь к чувствительным местам руками. 4.

Следует иметь в виду, что каждый термометр имеет обычно определенные поправки, устанавливаемые в соответствующих поверочных учреждениях; эти поправки прилагаются к каждому термометру в виде таблицы-сертификата; поэтому наблюденные температуры должны исправляться по сертификату данного термометра.

Термометры — водяной и для измерений температуры воздуха — должны не реже 1 раза в год проверяться. Поверка может быть выполнена в специальных поверочных учреждениях.

5. Для оценки мутности вода зачерпывается в стакан непосредственно после измерения уровня на расстоянии от берега, не меньше 2—3 *м* для малых и 20—30 *м* для больших рек; оценка мутности выполняется на-глаз, в 5-балльной системе путем рассмотрения взятой пробы воды на свет (если не ведутся более точные наблюдения, см. § 139).

6. Волнение, ветер, сила осадков и их продолжительность, водная растительность по инструкции Государственного гидрологическ о ин-

ститута также оцениваются глазомерно, в 5-балльной системе. В основе пятибалльной системы лежит такое подразделение: очень слабое (1 балл), слабое (2), среднее (3), сильное (4), очень сильное (5). При оценке ветра кроме его силы характеризуется также и его направление (сверху, снизу по течению, с правого, с левого берега).

При оценке осадков имеется в виду их характеристика (сила и продолжительность) за срок, истекший от предыдущего наблюдения; продолжительность отмечается в часах. Снег, град и крупа обозначаются, кроме того, первыми буквами их названий.

Водная растительность характеризуется для участка, прилегающего к посту (не менее чем пять ширин реки вверх и вниз по реке от поста); если вся река чиста, ставится балл 1; четверть реки занята растительностью — 2; половина — 3; три четверти — 4; вся река — 5.

Условные обозначения записей обычно приводятся подробно в инструкциях наблюдателям.

Все перечисленные выше наблюдения выполняются в те же сроки, что и наблюдения за уровнями воды.

§ 40. Производство наблюдений за ледовыми явлениями

Наблюдения над ледовыми явлениями в реке могут быть подразделены на следующие отдельные стороны:

I) наблюдения во время замерзания реки;

II) наблюдения над рекой при наличии ледяного покрова (л. п.);

III) наблюдения над вскрытием реки;

IV) наблюдения за особыми явлениями зимнего режима: а) донным льдом, б) заторами и зажорами.

I. Период замерзания. В период, предшествующий замерзанию реки, при понижении температуры воды до 10° С следует делать более частые, чем обычно, наблюдения над температурой воздуха и воды.

При этом нужно подробно отмечать все фазы, свойственные периоду замерзания, а именно такие явления (в скобках указаны условные сокращенные обозначения этих явлений):

1) появились забереги (зб), когда появились ледяные закраины у берегов;

2) сало (с), когда пластинки льда, уносимые течением, смерзаясь друг с другом, делаются видными на реке, или же когда плывут на поверхности воды комья от выпавшего снега или комья рыхлого льда;

3) шуга (ш) — кашеобразная масса из несмерзшихся комьев льда, образующегося, главным образом, на дне и всплывающего наверх;

4) ледоход (лх), когда на реке появляются отдельные льдины; при этом следует указывать, какая часть реки занята плывущим льдом, например, $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$, или хотя бы так: редкий (густой) ледоход посередине, редкий (густой) ледоход у берега (и какого), сплошной ледоход (по всей реке) и т. д.;

5) ледостав (лс), если вся река или часть ее покрылась неподвижным льдом; степень покрытия реки льдом указывается по пятибалльной системе. В случае наличия незамерзших мест (быстрое течение) указывать, имеются полыньи или майны (м);

6) торосы (т) — нагромождение льдин при ледоставе;

7) образовался затор (зт) или зажор (зж), если таковой образовался бы вблизи поста вследствие забивки русла реки льдом (см. ниже п. V); о возобновившемся после прорыва затора ледоходе продолжают записывать по предыдущему;

8) необходимо отметить время, когда через реку установилось пешее сообщение по льду и когда — конное.

В книжке наблюдений необходимо отмечать явления, происшедшие также ночью и известные поэтому только в общих чертах.

II. Ледяной покров. Наблюдения над ледяным покровом после ледостава имеют целью изучение процесса ледообразования и изучение структуры льда.

Нарастание льда в толщину происходит в течение зимы постепенно, не прекращаясь после ледостава; на разных участках и в разные зимы рост льда неодинаков, завися от разных причин: скорости течения воды, толщины снегового покрова и времени его выпадения, температуры воздуха и т. п.

Ледяной покров в зависимости от условий замерзания может быть по внешнему виду: 1) ровный, сплошной и 2) неровный, образовавшийся в результате смерзания отдельных нагроможденных льдин (при заторе или сильном ветре).

По своему строению ледяной покров может быть:

1) плотный прозрачный — кристаллический;

2) менее плотный, непрозрачный, пористый, образующийся сверху первого от смерзания на льду выпавшего снега с водой («снеговой» лед);

3) из рыхлого льда в виде шуги (от всплывания донного льда наверх или приноса течением сверху).

В самой толще льда могут встречаться пустоты, иногда даже в несколько ярусов. Происходит это в результате тех изменений уровней воды, которые могут иметь место в промежутках между образованием первого и следующих ледяных покровов.

Главную часть наблюдений над рекой во время ледяного покрова составляют измерения толщины льда.

Измерения толщины льда делаются ледомерной рейкой в специальных узких прорубях (лунках) обычно каждый пятый день не менее чем в двух лунках: у берега и посередине реки. В начале и конце зимы, когда изменения толщины льда происходят более интенсивно, чем в середине зимы, рекомендуется измерения толщины производить чаще — именно ежедневно; такие же ежедневные измерения желательны и в середине зимы в случаях появления оттепелей. Возможны два способа производства измерений толщины льда:

1) для производства наблюдений каждый раз пробиваются новые лунки в таком месте (в районе поста), где сохранился нетронутый снеговой покров; 2) лунки делаются раз на весь период наблюдений, следя, чтобы снег около них оставался лежать в возможно нетронутом виде.

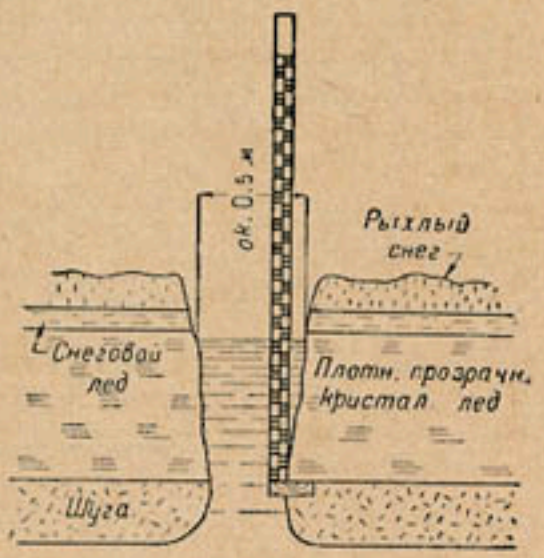
При втором способе, при свайном посте, первую прорубь делают у водомерной сваи, отстоящей наиболее далеко от берега; вторую прорубь делают посередине реки, против первой; при реечном посте первая прорубь делается шагах в трех от берега против рейки водомерного поста; вторая — посередине реки. При первом способе положение новых лунок необходимо определять хотя бы шагами по отношению к той свае (рейке), над которой делаются наблюдения уровней. Для измерений по второму способу необходима специальная рейка с откосом. Промеры толщины льда делаются по четырем направлениям лунки, а из них записывается среднее.

Для определения толщины льда служат ледомерные рейки. Ледомерные рейки применяют двух видов:

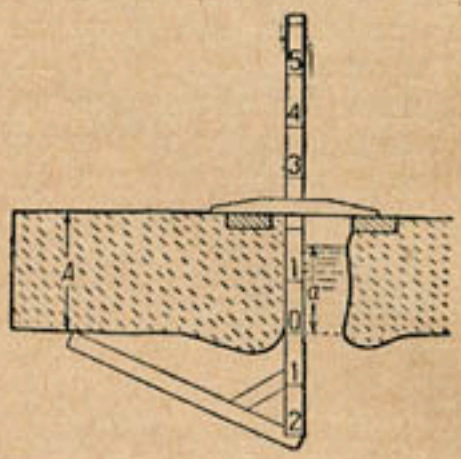
1) простая рейка с поперечиной внизу (в форме кочерги — фиг. 53) легко может быть изготовлена из обыкновенной водомерной переносной рейки путем прикрепления к ней снизу перекладинки; измерения делаются путем захвата снизу льда перекладинкой;

2) специально изготовляемая ледомерная рейка (фиг. 54), служащая для измерения толщины льда в постоянных прорубях; главной особенностью ее служит неподвижно укрепленный внизу подкос, верхняя закругленная часть коего (конец) находится на высоте нуля рейки при отвесном положении ее. По рейке движется вверх и вниз движок с упорами, закрепляемый на ней при помощи винта. Деления ее наносятся разными красками: от нуля рейки вверх — черной краской, а вниз — красной. Рейка вставляется в прорубь, и подкос подводится под лед так, чтобы его конец касался нижней поверхности льда; установив рейку строго отвесно и прижимая подкос к нижней поверхности льда, опускают упорный движок на верхнюю поверхность льда, закрепляя его винтом для момента производства отсчетов.

Употребление такой рейки для измерений на постоянных прорубях предложено ввиду того, что у постоянных прорубей снизу у краев образуются ледяные наросты; поэтому, если измерять толщину льда по толщине краев самой проруби через несколько времени после того, как она сделана, можно получить ошибку. При применении специальной рейки второго типа нужно весьма внимательно следить за тем, чтобы: 1) во время измерений рейка имела строго вертикальное положение; 2) снеговой покров у постоянной проруби оставался бы по возможности нетронутым; 3) прорубью для промеров толщины льда местные жители не пользовались бы для своих бытовых нужд. В противном случае лучше применять простую рейку, и проруби периодически менять.



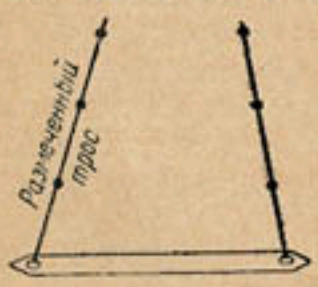
Фиг. 53. Ледомерная рейка простая.



Фиг. 54. Ледомерная рейка специальная.

При измерении толщины льда необходимо отмечать: 1) общую толщину льда между его нижней и верхней поверхностями; 2) толщину прозрачного плотного кристаллического льда; 3) толщину снегового льда.

Кроме того, необходимо отмечать: 1) стояние воды в лунках, т. е. расстояние между нижней поверхностью льда и уровнем воды; может быть 3 случая: вода стоит ниже нижней поверхности льда; вода стоит выше нижней поверхности, но ниже верхней, и вода стоит выше нижней и верхней поверхностей льда; 2) толщину нетронутого мягкого снегового покрова недалеко от мест измерений толщины льда, желательно в нескольких пунктах, вдоль и поперек реки, с обозначением этих мест, а также на берегу; 3) наличие донного льда (см. ниже п. IV); 4) наличие под ледяным покровом шуги; весьма желательно определять толщину слоя шуги, что можно выполнять при помощи шугомерной рейки, т. е. рейки с прикрепленной внизу ее крестовиной; проталкивая рейку через слой шуги, нащупывают границу между чистой водой и началом скоплений шуги; на фиг. 55 изображено простое приспособление, применявшееся для измерений толщины шуги на р. Свири: к ломику прикреплены два тросика, один из коих размечен на сантиметры; 5) желательно отмечать наличие трещин во льду — поперечных и продольных; 6) полыньи — их место в реке и приблизительный размер; в течение зимы отмечать все главнейшие изменения полыней; 7) характер нижней и верхней поверхностей льда: гладкая, шероховатая или очень неровная; 8) скорости течения в прорубях: течения нет, медленное, среднее, быстрое, очень быстрое; 9) глубину реки в местах сделанных прорубей.



Фиг. 55. Приспособление для измерения толщины слоя шуги.

Кроме этого после ледостава, а также в середине и конце зимы, недалеко от водомерного поста надо вырубать по куску льда для подробного описания его слоистости и характера нижней поверхности. Для более полной характеристики общего состояния л. п. наблюдатель обязан не менее одного раза в пятидневку обходить и осматривать некоторый участок реки — выше и ниже водомерного

поста; длина этого участка может колебаться от 200 *м* для малых рек и до 2 тыс. *м* для больших рек.

Отметим, что массовые измерения толщины льда весьма удобно выполнять при помощи описанного П. Н. Кириллиным [1] прибора для сверления льда, состоящего из 1) коловорота для вращения в 12 *мм*, 2) стальной штанги, размеченной на сантиметры, и 3) спирального сверла в 25 *мм*. Сверло имеет заплечико, которое подводят для измерения под нижнюю кромку льда.

III. Наблюдения за вскрытием. Наблюдения над вскрытием реки начинаются при появлении первых признаков этого явления. Следует отмечать отдельно, с указанием времени их появления, такие признаки:

1) потемнение поверхности льда;

2) вспучивание льда;

3) появление проталин (закраин) у берегов (зк);

4) переход плотного льда в рыхлое состояние.

При этом отдельные моменты могут быть такие:

1) первая подвижка льда (пд) — момент первого сдвига ледяного покрова с мест; следующие подвижки обозначаются их номерами — вторая, третья и т. д.;

2) лед тронулся — когда весь лед начинает двигаться сплошной массой;

3) полный ледоход (лх) — когда сплошная передвигающаяся масса льда разделяется на отдельные льдины и льдинки; при этом указывают, движется ли крупный (кр. л.) или мелкий лед (м. л.);

4) движется редкий лед — когда к концу ледохода лед движется уже редко;

5) заторы — явление аналогичное имеющим место таким же явлениям периода замерзания реки (см. дальше);

6) река очистилась — когда наблюдатель, стоя у водомерного поста, не видит нигде льда;

7) если ледохода не было, а лед растаял на месте, необходимо отметить: лед растаял на месте.

IV. Наблюдения за донным льдом. Наблюдения над донным льдом должны заключаться в следующем:

1) в выяснении наличия донного льда в реке и условий его появления; для этого поздней осенью и в начале зимы, при понижении температуры воды до 0°, периодически осматривают дно реки с лодки, если вода прозрачна, или прощупывают дно ударами шеста при мутной воде, отчего донный лед должен всплывать; кроме того, опускают на ночь на дно несколько камней с привязанными к ним ветками или металлические сетки, которые в случае образования донного льда должны обмерзнуть (фиг. 56); полезно при этом организовать особо точные наблюдения за температурою воды; для этого иногда применяют особые конструкции термометров, как, например, микротермометр (точность отсчетов до 0,01° С), или термопары (точность до 0,001° С), устройство которых основано на возбуждении электрического тока под влиянием разности температур на спаянных концах двух проводников из разных металлов;

2) в выяснении толщины и площади залегания (или протяжения залегания в створе — при измерениях ледяного покрова) донного льда; определение толщины возможно осуществить при помощи шеста, погружаемого осторожно до соприкосновения с верхней поверхностью залегающего донного льда, а затем через донный лед — до поверхности дна; разность глубин погружения шеста в обоих случаях дает толщину залегания донного льда; наблюдения эти могут быть удачны лишь при очень внимательном выполнении измерений;

3) в описании внешнего вида и характера донного льда;

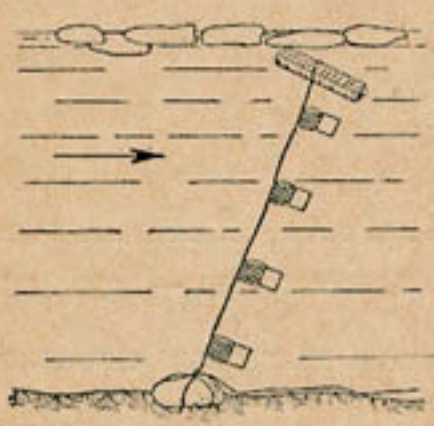
4) в описании приблизительной глубины реки, характера ее дна и скорости ее течения в месте образования донного льда.

---

[1] «Известия Государственного гидрологического института» № 55, Ленинград, 1933, стр. 57.

V. Заторы и зажоры. Ледяные заторы образуются в результате забивки русла реки плывущим сверху поверхностным льдом (имеют место при крутых поворотах узкой реки в крепких берегах или перед искусственными сооружениями и естественными препятствиями в русле реки); зажорами именуют скопления льда в результате интенсивного образования и поступления сверху донного льда под существующим ледяным покровом на реке.

В обоих случаях образуется как бы плотина, которая не пропускает воды, притекающей сверху. Уровень воды у затора (зажора) поднимается, ниже затора (зажора) падает. Относительно заторов (зажоров) необходимы следующие записи: 1) место, где образовался затор (зажор) по отношению к посту и соответствующее расстояние; 2) время, когда он образовался; 3) приблизительная длина участка реки, занятая ледяной массой; 4) последствия, вызванные затором (зажором); 5) время, когда его прорвало.



Фиг. 56. Сетка для наблюдений за образованием донного льда.

Во время затора (зажора) необходимо производить учащенные наблюдения за высотами уровня, причем нужно стараться уловить наивысший (наинизший) уровень воды от затора (зажора).

Зимой рекомендуется, особенно в случае обнаружения донного льда, определять степень прозрачности воды и степень облачности неба. Облачность обозначается по 5-балльной системе, принимая за балл 5 — сплошную облачность, за 4 — весьма сильную, но неполную облачность, за 3 — если небо закрыто тучами наполовину, за 2 — легкие облака и за 1 — полное отсутствие облака, ясно. Оценка облачности производится суммарно за истекшие сутки.

Определение прозрачности воды проще всего выполняется следующим образом: белую тарелку, подвешенную плашмя на бечеве, спускают в воду в затененном месте на возможно глубоком участке реки и замечают глубину, на которой она перестает быть видимой. Глубину эту записывают в журнал, выражая ее в метрах и сантиметрах. Специально изготовляемый диск для измерения прозрачности носит название диска Секки; этот диск имеет диаметр в 30 *см* и снабжен свинцовым грузом.

§ 41. Формы записей

Записи на постах производятся по особым формам; при этом наблюдатель получает: 1) полевые книжки и 2) журнал (или настольную книжку).

Полевые (или черновые) книжки служат для непосредственной записи наблюдений у водомерного поста; записи из полевой книжки наблюдатель сейчас же по приходе домой переносит в журнал (или настольную книжку). Каждая полевая книжка рассчитана на 1 мес. наблюдений. Записи в книжках производятся согласно точной инструкции для наблюдателя. В начале полевой книжки имеется место для записей о повреждениях и исправлениях на посту и место для пометок лиц, поверяющих работу поста. Дополнительные наблюдения записываются на последней странице (а в годовых журналах — на обороте страниц). Форма записей дана ниже (на стр. 73).

При наличии уклонных водомерных постов записи производятся по той же форме.

Годовой журнал является полной копией полевых книжек и отличается от них только форматом; журнал этот имеет отрывные талоны и корешковые листы, которые заполняются под копирку. По истечении месяца заполненный талон журнала и полевая книжка отсылаются в Гидрометрическую службу. Корешки остаются у наблюдателя во все время работы водомерного поста.

Записи из полевой книжки в годовые журналы должны переноситься немедленно после прихода домой с водомерного поста.

Выше описаны формы записей, отвечающие порядку, принятому Государственным гидрологическим институтом. В разных республиках СССР эти формы

несколько видоизменяются применительно как к особенностям местных изучений, так и установившимся там образцам.

ФОРМА 1

Число месяца	Часы наблюд.	Уровень воды					Температура воды	Мутность (прозрачность)	Волнение	Погода за сутки	Сведения о вскрытии, замерзании, ледоходе, ледоставе, заторах, зажорах, донном льде и о других явлениях
		№ сваи	Отсчет по рейке	№ сваи	Отсчет по рейке	В принятых отметках					
1											
. . .											
. . .											
5											

§ 42. Поверка поста

Поверка поста включает в себя: 1) контролирование основной работы наблюдателя, т. е. правильности и регулярности делаемых им записей; 2) детальный осмотр состояния входящих в водомерный пост устройств; 3) инструментальную поверку отметок свай и реек; 4) промеры створа поста и нивелировку его до уровня высоких вод; 5) осуществление мер, имеющих целью устранить все замеченные дефекты; 6) осуществление мер, имеющих целью предупредить возможные дефекты.

На постах, служащих для целей предсказаний и оповещаний, необходимо проверить правильность составления, зашифровки и передачи гидрологических телеграмм.

В соответствии с такими целями поверка водомерных постов должна производиться соответствующими специалистами и инструментами.

Контроль работы наблюдателя выражается в детальном просмотре, немедленно же после прибытия к наблюдателю, книжки для записи наблюдений, где должны быть занесены все наблюдения до дня проверки включительно; запись дня поверки должна быть затем проверена непосредственным измерением на водомерном посту, причем свой отсчет поверяющее лицо обязано записать за своей подписью в полевую книжку

Необходимо также убедиться в правильности выполнения наблюдений, проконтролировав их непосредственно на водомерном посту.

После просмотра данных наблюдений необходимо запросить наблюдателя об исправности водомерного поста, о случившихся на нем со дня последней поверки повреждениях и о временных исправлениях. Все устные показания наблюдателя должны быть согласованы с записями в настольной книжке (журнале), что должно быть сейчас же проверено.

Поверяющий пост должен затем лично осмотреть пост, убедиться в правильности показаний наблюдателя поста и целесообразности принятых им мер; при этом детальным осмотром выясняется состояние всех свай, реек и реперов водомерного поста в отношении отсутствия на них как внешних повреждений, так и признаков, указывающих на угрозу нарушения первоначального неподвижного положения свай и реек (оползни, размывы, наносы и др.).

Если по опросу и по наружному осмотру все установки водомерного поста окажутся в полном порядке, то производится инструментальная поверка отметок свай и реек путем двойной точной нивелировки. Полученные отметки вносятся

в годовой журнал и в технические списки; если некоторые из отметок отличаются от полученных при предыдущей нивелировке, то следует выяснить: 1) возможную причину этого и 2) до какого времени при обработке наблюдений следует принимать прежние отметки свай (реек) и вписать таковую дату в соответствующую графу настольной книжки или на обороте талона. Если окажется, что разницы между высотами свай остались те же, что и при прежних нивелировках, но отметки их изменились, следует самым тщательным образом обследовать неизменность положения репера; вообще следует иметь в виду случаи, когда в силу условий грунта у берегов реки и сваи и репера, если последние установлены непосредственно у поста, могут подвергаться периодическим перемещениям по высоте; таковы, например, случаи установки поста и реперов на торфяных грунтах, когда возможна осадка или подъем торфа в зависимости от его влажности, на грунтах с насыщенными водой песчано-глинистыми прослойками, на которых может иметь место вспучивание.

Если наблюдателем водомерного поста были произведены временные исправления или были забиты временные сваи (или колья) взамен поврежденных, отметки исправленных или вновь устроенных установок определяются инструментально и заносятся в книжку с указанием, на протяжении какого периода полученные отметки следует принимать в расчет.

Далее, выполняются промеры и нивелировка по створу поста до уровня самых высоких вод. Попутно отмечается по сохранившимся знакам высота имевшего место максимального уровня воды и сверяется с записью наблюдателя.

Одновременно с производством поверки поста поверяющее лицо обязано выяснить, имеются ли в техническом списке (описании) поста все необходимые сведения, а также, не требуется ли вводить в нем дополнений и изменений. В случае надобности делаются возможные дополнения и изменения.

Во время поверки поста производится также поверка наличия и исправности всех принадлежностей для ведения наблюдений.

Все результаты поверки (нивелировки, промеров, осмотра) заносятся кроме книжки и журнала в наиболее полном виде в технический список поста.

Поверки правильности поста должны производиться возможно чаще, особенно на реках с неспокойным течением и непрочным руслом. Наибольшие промежутки между последовательными поверками не должны превышать 4—6 мес.; обязательными в общем случае следует считать поверки: зимнюю — после ледохода и в межень.

§ 43. Ремонт и перенос поста

1. Р е м о н т п о с т а. При производстве ремонта или исправлений отдельных повреждений на водомерном посту следует иметь в виду следующее:

Если поврежденную сваю нельзя исправить, то надо забить новую сваю рядом со старой в общем створе поста; остаток головки старой сваи должен быть при этом уничтожен.

Каждую вновь забитую сваю, хотя бы взамен поврежденной, обязательно снабжать очередным для данного поста номером. Изменять общую нумерацию свай поста, принятую раньше и значущуюся в техническом списке его, ни в коем случае не разрешается во избежание путаницы в последующих обработках. Если опасность разрушения угрожает какой-либо свае (рейке), следует это немедленно устранить или установить новую сваю (рейку).

Если опасность быть разрушенным или опасность изменения положения вследствие, например, размыва угрожает реперу и устранить ее нельзя, то следует, не трогая старого репера, установить новый на новом тщательно выбранном месте и связать его двойной нивелировкой с надежными реперами. В местах людных или местах пребывания и прохода скота полезно бывает ограждать репер заборами. Непосредственно переносить репер с одного места на другое ни в коем случае не разрешается; старый репер остается на его месте до естественного его разрушения или изменения его положения. Если реперная марка отсутствует или содержит неполные сведения, то следует на репере поместить новую марку; помещать новые сведения на старой марке ни в коем случае не разрешается.

Все сведения по выполненному ремонту должны быть записаны в технические списки, в полевую книжку и в годовой журнал.

2. Перенос поста. В случае невозможности привести в порядок водомерный пост на его старом месте, например, вследствие обнаруженной тенденции постоянного интенсивного размыва берегов, оползней и т. п. (т. е. в случае неудачного выбора места при первоначальном устройстве поста) водомерный пост следует перенести на новое место.

В этом случае новое место устройства поста следует выбирать так, чтобы падение реки между новым и старым местоположением поста было не более 0,01 *м*, т. е. чтобы разницей в показаниях старого и нового постов можно было бы пренебречь. В противном случае оба водомерных поста — и новый и старый — должны функционировать одновременно в течение периода, достаточного для охвата параллельными измерениями по возможности всей амплитуды уровней (желательно не менее одного года); только при этом условии возможно связать наблюдения нового поста с наблюдениями старого, и последние не теряют своей ценности для ряда последующих наблюдений. Эта связь выполняется путем построения кривых связи соответственных уровней (§ 51).

ГЛАВА VIII

ОБРАБОТКА УРОВНЕЙ И СОПУТСТВУЮЩИХ ИМ ЯВЛЕНИЙ

§ 44. Общий порядок обработок

Обработки уровней можно представить в виде таких отдельных их видов:

1. Первичная обработка записей водомерного поста, которая состоит в следующем: а) приведение к нулю наблюдений или к нулю графика; б) вычисление среднесуточного уровня (при нескольких наблюдениях в сутки); в) построение графиков колебаний уровней как в целях поверки данных, так и в целях наглядного изображения этих данных; д) составление сводных ведомостей ежедневных уровней.

2. Основные обработки для каждого года наблюдений, под которыми имеются в виду обработки, суммирующие основные характерные черты уровенного режима реки.

3. Специальные обработки, т. е. обработки, имеющие в виду особо подробно и исчерпывающе осветить те или иные характерные черты в ходе режима уровней; обработки эти необязательны для каждого водомерного поста и должны выполняться в случаях специальной к тому необходимости или в целях более подробного изучения уровней данной реки.

4. Обработки явлений, сопутствующих изменениям уровней, т. е. данных по явлениям льда, по температурам воды, по изменениям уклонов, по изменчивости русла и т. п.

§ 45. Первичная обработка и поверка уровней

1. Первичная обработка записей наблюдателя водомерного поста начинается с приведения записей к нулю наблюдений или нулю графика поста (§ 16), если таковой не совпадает с нулем наблюдений.

Для свайных постов, при записях уровней в виде отсчетов над отдельными сваями, приведению наблюдений к нулю графика поста должно предшествовать приведение их к нулю наблюдений. Для этого к каждому отсчету должно быть прибавлено превышение головки сваи, на которую ставилась рейка, над сваей, головка которой принята за нуль поста[1].

Далее производятся вычисления среднесуточного уровня.

При однократных измерениях в сутки за среднесуточный принимается утренний наблюденный уровень.

[1] Уровни на временных водомерных постах нередко исчисляют в отметках над уровнем моря (или в условных отметках).

2. При трехкратных наблюдениях и при малых суточных колебаниях горизонтов среднесуточный уровень $H_{ср}$ определяется как среднее арифметическое из всех трех отсчетов, т. е. по формуле

$$H_{ср} = \frac{H_7 + H_{13} + H_{19}}{3}, \qquad (10)$$

где значки при H обозначают часы наблюдений (в системе 24 час. в сутки).

При тех же наблюдениях, но при значительных колебаниях горизонтов можно определить $H_{ср}$ более точно, придавая каждому наблюдению вес, отвечающий тому промежутку времени, на которое данное наблюдение распространяется. Считая сутки от 0 до 24 час., при указанных сроках наблюдений имеем: наблюдения в 7 час. характеризуют уровни, имевшие место на протяжении от 0 до 7 час. и далее — от 7 час. до половины промежутка между 7 и 13 час., т. е. на протяжении 3 час., а всего для 7-часового наблюдения получаем вес его в $7+3=10$ час.; наблюдение, выполненное в 13 час., по тем же соображениям характеризует уровни на протяжении 6 час. $[3 + 0{,}5(19 - 13)]$; наблюдения в 19 час. характеризуют период в $3 + (24 - 19) = 3 + 5 = 8$ час. Таким образом получаем

$$H_{ср} = \frac{10H_7 + 6H_{13} + 8H_{19}}{24}. \qquad (11)$$

Это выражение можно для удобства расчетов преобразовать так:

$$H_{ср} = \frac{8H_7 + 8H_{13} + 8H_{19} + 2H_7 - 2H_{13}}{24} = \frac{H_7 + H_{13} + H_{19}}{3} + \frac{H_7 - H_{13}}{12}, \qquad (12)$$

где последний член дает поправку к вышеприведенной приближенной формуле (10).

Исходя из соображения, что от вечернего наблюдения в 19 час. до утреннего в 7 час. проходит период 12 час., можно давать утреннему наблюдению вес в $^1/_2$ периода плюс $^1/_2$ периода от 7 до 13 час., т. е. всего 9 час.; тогда вечерний период тоже будет иметь 9 час., и поэтому можно иметь:

$$H_{ср} = \frac{9H_7 + 6H_{13} + 9H_{19}}{24} = \frac{H_7 + H_{13} + H_{19}}{3} - \frac{H_{13}}{12} + \frac{H_7 + H_{19}}{24}. \qquad (13)$$

При наблюдениях по максимально-минимальным рейкам среднесуточный уровень вычисляют по формуле (§ 30):

$$H_{ср} = \frac{H_{min} + H_{max} + H_7 + H_{19} + H'_7}{5}, \qquad (14)$$

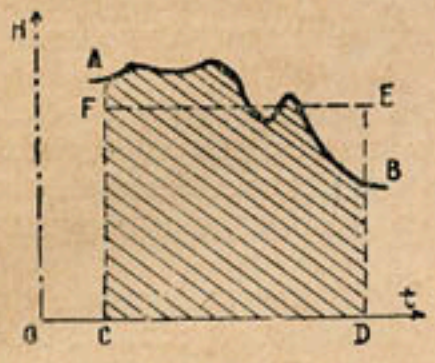
где H'_7 — уровень, наблюденный в 7 час. утра предыдущего дня.

3. При обработке лимниграфных наблюдений прежде всего следует нанести на соответствующих осях шкалу уровней и шкалу времени. Шкала уровней наносится, сообразуясь с имеющимися на каждом листе лимниграммы записями наблюдений по водомерной рейке, установленной у лимниграфа (§ 29); обычно наблюдатель делает эти наблюдения и отметки при смене листов лимниграмм, т. е. имеется по две отметки уровней — в начале и конце листа лимниграммы. Если, например, началу записи лимниграфа отвечает отметка уровня, равная 48 *см*, то, зная масштаб искажения записей лимниграфа, находят положение горизонтальной линии, отвечающей 50 *см*, от которой и производят разметку шкалы для всех остальных уровней, например, через каждые 10 *см*; конечная отметка уровней в этом случае служит для поверки нанесенной шкалы.

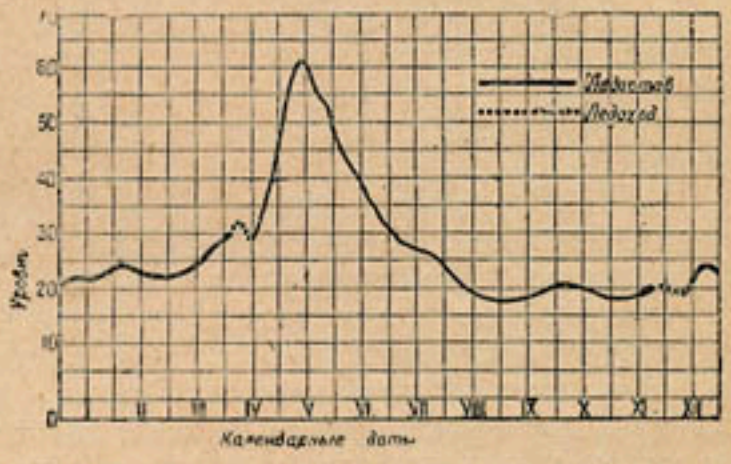
Шкалу времени размечают аналогично вышесказанному относительно шкалы уровней, основываясь на сделанных наблюдателем отметках времени, отвечающего началу и концу записи лимниграфа. При этом, чтобы исключить возможные ошибки в ходе часового механизма лимниграфа, удобно, не считаясь с отвечающим конструкции лимниграфа масштабом времени, определить этот масштаб из разности начальной и конечной отметок времени (поделив эту разность на соответствующее число клеточек клетчатки). По полученной шкале времени удобно выделять проведением вертикальных линий начало и конец

целых суток. Если часовой механизм лимниграфа имеет неверный ход (часы спешат или отстают), что легко обнаружить путем сравнения полученной шкалы времени с показаниями часов лимниграфа, то должны быть приняты меры к немедленному устранению неточности часового механизма лимниграфа (§ 29).

Произведя все вышеописанные работы, можно затем для дальнейших обработок или выбрать из лимниграммы нужные срочные наблюдения, или получить среднесуточные уровни, или уровни средние за иной период. Средние уровни могут быть получены путем планиметрирования площади участка изучаемой длины (за сутки, за несколько дней) и делением этой площади на длину взятого участка.



Фиг. 57. Определение среднего уровня по лимниграмме.



Фиг. 58. Схема построения графика уровней.

Весьма просто среднесуточный уровень (или иной средний уровень) может быть найден при помощи прозрачной пластинки с нанесенной на ней горизонтальной чертой (фиг. 57); черта *FE* должна разделить кривую уровней так, чтобы площадки вверх и вниз от *FE* были равны.

Следует отметить, что в условиях наших рек в большинстве случаев для дальнейших выводов достаточно подвергать обработке лишь утренние (7-часовые) наблюдения.

4. Далее, рекомендуется производить критическую проверку правильности полученных приведенных данных. Поверка эта может быть лучше всего осуществлена после графического изображения данных наблюдений в виде графиков колебаний уровней или лимниграмм (см. образец — фиг. 58).

Масштаб для лимниграмм (графиков уровней) следует выбирать такой, чтобы чертеж получился достаточно ясным и негромоздким; например, для уровней: в 1 *см* —5, 10 или 20 *см*, для дат: в 1 *см* —4, 5 или 10 суток. На графиках уровней обязательно надо обозначать фазы ледохода и ледостава; удобно эти обозначения делать так, как показано на фиг. 58; иначе фазы ледовых явлений можно обозначать такими же условными линиями (жирной и пунктиром), но проводимыми непосредственно вдоль непрерывной линии уровней. В прежних изданиях б. министерства путей сообщения фазы ледохода и ледостава обозначаются сплошной (ледостав) или заштрихованной (ледоход) полосками, наносимыми выше графика уровней горизонтально, на протяжении соответствующих периодов.

Самая поверка может осуществляться разными путями. Внимательным рассмотрением графика колебаний и сопоставлением его с такими же за другие месяцы и годы по данному водомерному посту можно обнаружить наличие в данном графике резких скачков с разрывами или совершенно ровных площадок при отсутствии таковых в других; это обстоятельство при неимении предпосылок к чему-либо подобному в режиме данной реки может указывать на недобросовестность или ошибки наблюдателя. Весьма часто ошибки в наблюдениях можно обнаружить при параллельном сопоставлении графиков нескольких смежных водомерных постов, лежащих на одной реке или даже в соседних близких бассейнах; эти графики в общем зача-

стую обнаруживают вполне параллельный ход изменений уровней; нарушение общей картины в одном из них может также указывать на неправильности.

5. В случае если по некоторым годам имеются пропуски в наблюдениях для отдельных уровней, эти уровни могут быть восполнены по интерполяции между соседними, если только эти пропуски приходятся на периоды с непрерывным одноименным ходом уровней — спадом или подъемом, и если эти пропуски невелики (несколько дней).

Недостающие крайние значения уровней — максимумы и минимумы — могут быть восполнены при наличии наблюдений по смежному или недалеко расположенному водомерному посту путем приводки этих последних наблюдений к показаниям данного водомерного поста с помощью предварительно построенной кривой связи соответственных уровней (§ 51); этой же кривой иногда можно воспользоваться для восстановления длительных пропусков.

6. Проверенные и приведенные к нулю поста уровни переписываются в сводные ведомости, обычно составляемые на готовых бланках, разграфленных так, что на одном бланке помещаются все 12 мес. года; числа месяца обозначены на таких бланках в первом вертикальном ряду, а следующие вертикальные ряды соответствуют последовательно идущим месяцам.

В таких сводных ведомостях имеются обычно внизу результативные строки для среднемесячного уровня, максимального и минимального уровней. Последние можно также выделять в каждом месяце условным подчеркиванием разными цветами, например, максимальные уровни — красным, минимальные — синим, оговаривая эти условные знаки в примечаниях.

Фазы ледохода и ледостава обозначаются в сводных ведомостях обычно так: ледостав — вертикальной сплошной жирной чертой, проводимой параллельно цифрам уровней, измеренных при ледоставе, справа от них; ледоход — так же, но пунктирной линией; сбоку ведомости имеется обычно место как для более детальных замечаний о различных явлениях в жизни реки (например, длительность ледостава, ледохода — осеннего и весеннего), так и для данных о работе и состоянии водомерного поста.

§ 46. Основные обработки для года и для многолетия

Составив сводную ведомость ежедневных уровней, находят далее:

1. Для каждого месяца — среднемесячные и крайние (максимальные и минимальные) уровни; первые находятся суммированием всех уровней за данный месяц и делением результата на число дней в месяце; вторые — путем простой выборки; месячные средние даются в целых сантиметрах после соответствующего округления.

2. Находят те же самые характеристики для отдельных сезонов: а) осень, б) зима, в) весна и г) лето. Сезоны выделяются по климатическим характеристикам района; например, для условий малых рек УССР можно придерживаться разбивки на сезоны, близкой к такой: осень — IX, X, XI, зима — XII, I, II, весна — III, IV, V, лето — VI, VII, VIII; иногда для каждого года лучше эту разбивку производить по характерным признакам для сезонов данного года; во всех случаях необходимо указывать, какие месяцы входят в тот или иной сезон. Разбивка года может быть выполнена также по иным признакам в зависимости от цели обработки; например, можно разделять год на два периода: 1) навигационный и 2) ненавигационный, или на такие: вегетационный и невегетационный.

3. Делением суммы месячных сумм на 365 (в високосном году — на 366) находят среднегодовой уровень, далее находят годовой максимум и минимум. Годовые циклы удобно брать не календарные, а гидрологические, т. е. отвечающие гидрологическому году. За начало гидрологического года обычно принимается переход реки на зимний или осенний режим, округленный до ближайшего начала месяца; в разных районах Союза принимают или 1 сентября, или 1 октября, или 1 ноября, или 1 декабря. Конец гидрологического года берут на последнее число месяца, предшествующего началу года.

4. Вычисляют длительность ледохода — весеннего и осеннего — и длительность ледостава и выписывают ряд иных характеристик ледовых явлений: крайние значения уровней (максимальное и минимальное) при ледоходах, календарные даты их, так же как и отдельных фаз ледовых явлений.

Данные п. 1 записываются в основной сводной таблице ежедневных уровней, как указывалось.

Данные пп. 2—4 удобно сводить также в отдельные таблицы.

ТАБЛИЦА 6

Месячные и сезонные характеристики уровней

Река_____ **Водпост у**_____

Период с_____ **г. по**_____ **г.**

Годы	Месяцы												Сезоны			
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	осень	зима	весна	лето
. . . . .																
. . . . .																
. . . . .																
Сумма																
Среднее . . .																
Абсолют. макс.																
Даты их . .																
Абсолют. миним. . . .																
Даты их . .																

5. Основные обработки уровней для ряда лет сводятся, так же как и для года, к нахождению средних и крайних характеристик уровней и характер-

ТАБЛИЦА 7

Годовые характеристики уровней

Река_____ **Водпост у**_____

Период с_____ **г. по**_____ **г.**

Годы	Максимальные уровни				Минимальные уровни				Ледовые явления								Продолжительность ледостава	Средний годовой уровень
	при отсутствии льда		при наличии льда		при отсутствии льда		при наличии льда		начало осеннего ледохода		ледостав		весенний ледоход: начало		весенний ледоход: конец			
	уровни	даты	уровни	даты	уровни	даты	уровни	даты	уровни	даты	уровни	даты	уровни	даты	уровни	даты		
. . . . .																		
. . . . .																		
. . . . .																		
Сумма																		
Среднее																		
Абс. макс.																		
Его дата																		
Абс. мин.																		
Его дата																		

ных дат. При этом обработка должна дать характерные выводы как по месяцам, так и для целых лет и сезонов.

Характер возможных обработок виден из следующих примерных табл. 6 и 7 (в обычных обработках сезоны не выделяют).

Табл. 6, таким образом, получается в результате сводки данных, уже вычисленных и выделенных в предыдущей обработке.

Табл. 7 составляется также на основе таблиц предыдущих обработок.

Получаемые по табл. 7 данные носят название:

1) самый низкий уровень за период обработки — абсолютный минимум — $H_{мин.\ абс}$;

2) самый высокий уровень — абсолютный максимум — $H_{макс.\ абс}$;

3) средний из самых низких (средний минимум) — $H_{мин.\ средн}$;

4) средний из самых высоких (средний максимум) — $H_{макс.\ средн}$.

Величина ($H_{макс.\ абс} - H_{мин.\ абс}$) носит название абсолютной амплитуды уровней.

Все среднемноголетние характеристики обязательно следует всегда сопровождать указанием того периода, к которому они относятся, например, 1910—1920 гг.

Указанные в табл. 6 и 7 горизонты нужны в целом ряде практических случаев.

Выше, в § 3, упоминалось, что наиболее длительные обработки данных об уровнях изданы в ряде томов «Сведений об уровне воды», начиная с 1881 и кончая 1916 г.; в этом издании кроме таблиц ежедневных уровней и ряда сводных таблиц имеются в виде приложений атласы, содержащие графики колебаний ежедневных уровней за периоды обработок.

§ 47. Повторяемость и продолжительность

1. Следует отметить, что средние значения уровней, находимые как среднеарифметические из соответствующих отдельных значений, не учитывают по своей природе: 1) особенностей в частоте расположения отдельных слагаемых, по которым они получены, и 2) величины и порядка изменений отдельных слагаемых.

Таким образом среднегодовые уровни могут быть одинаковыми при совершенно различном распределении уровней в году.

ТАБЛИЦА 8

Ведомость повторяемости стояния уровней

Река _____ **Водпост** _____ **год**

Уровни в пределах	Число дней стояния в месяцы												Суммы	Последоват. суммы	Обеспеченность
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII			
111—120	—	—	—	—	—	—	3	—	—	—	—	—	3	3	365
121—130	18	11	17	—	—	—	8	—	—	—	—	—	54	57	362
131—140	10	3	5	—	—	2	7	3	—	—	—	—	30	87	308
141—150	3	4	3	—	12	16	5	4	—	—	—	—	47	134	278
151—160	—	3	1	—	14	5	3	24	9	—	—	—	59	193	231
161—170	—	3	2	1	4	6	5	—	2	—	—	—	23	216	172
171—180	—	1	2	2	1	1	—	—	1	—	—	—	8	224	149
181—190	—	3	—	7	—	—	—	—	—	—	—	—	10	234	141
191—200	—	—	—	3	—	—	—	—	—	—	—	15	18	252	131
201—210	—	—	1	8	—	—	—	—	—	4	12	16	41	293	113
211—220	—	—	—	3	—	—	—	—	1	4	12	—	20	313	72
221—230	—	—	—	1	—	—	—	—	5	12	2	—	20	333	52
231—240	—	—	—	2	—	—	—	—	3	5	2	—	12	345	32
241—250	—	—	—	3	—	—	—	—	4	4	2	—	13	358	20
251—260	—	—	—	—	—	—	—	—	5	2	—	—	7	365	7
Итого . . .	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	—	—	—

Это лишает средние величины значения сколько-нибудь самостоятельных исчерпывающих характеристик хода явления.

В связи с указанным в последнее время все большее и большее значение получают характеристики изменений уровней, основанные на подсчетах повторяемости и продолжительности их.

2. Повторяемость, или частота стояния уровней, вычисляется обычно для интервалов в 5 или 10 *см*; в этом случае уровни, которые укладываются в принятый интервал, обозначают в таблице и на графике значениями уровней, отвечающих середине интервала.

Форма таблиц для вычислений для года дана выше в табл. 8.

Подсчеты ведутся путем выборки соответствующих данных из сводных ведомостей ежедневных уровней.

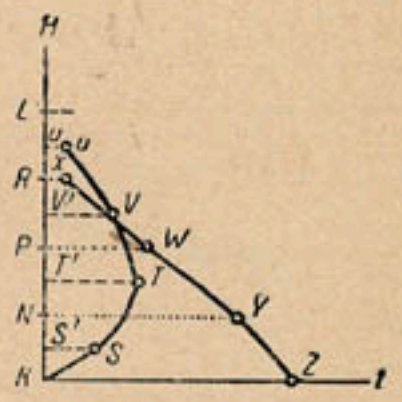
Удобно для подсчетов применять следующий статистический прием:

Составив таблицу с разбивкой высот уровней по интервалам, просматривают уровни по порядку месяцев и отмечают каждый случай против того интервала, куда этот уровень попадает, такими условными знаками: первые четыре случая — четырьмя точками, расставленными по углам квадрата, вторые — проводя по точкам стороны квадратов, и девятый и десятый — проводя диагонали. Тогда каждый десяток будет изображаться полными квадратиками с двумя диагоналями, а остающиеся единицы — незаконченной фигурой.

Пример подобных черновых подсчетов дан в табл. 9:

ТАБЛИЦА 9

Интервалы по высоте в *см*	Число дней стояния уровней в днях, в условных обозначениях	В днях	Последовательн. суммы
700—601		7	7
600—501		6	13
500—401		3	16
400—301		27	43
300—201		56	99



Фиг. 59. Схема построения кривых повторяемости и продолжительности.

Повторяемости для ряда лет вычисляют на основе составленных по образцу табл. 8 ведомостей для отдельных лет в виде сводки этих данных.

Повторяемость лучше вычислять отдельно для летнего периода, т. е. для периода свободной воды и для периода с ледовыми явлениями.

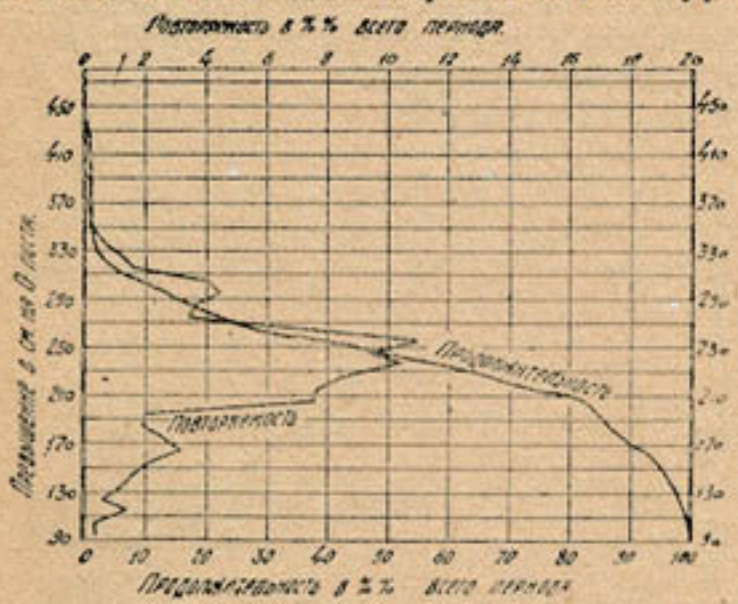
Вычисленные повторяемости стояния уровней для разных их значений (или интервалов) удобно изображать графически. Для этого на оси ординат откладывают высоту уровней, а на оси абсцисс — число соответствующих дней, в течение которых эти уровни держались. Так (фиг. 59), если уровни в пределах $K - N$ (середина интервала — S') держались $S' - S$ суток, уровни в пределах $N - P$ (середина интервала T') держались $T' - T$ суток, а уровни в пределах $P - R$ (середина интервала V') $V' - V$ суток, то кривой повторяемости (или частоты) уровней будет кривая $KSTVU$.

3. Кривая (или таблица) продолжительности (или обеспеченности) получается из кривой повторяемости путем последовательного суммирования числа дней, отвечающих последовательно взятым в нисходящем порядке интервалам кривой повторяемости (см. последнюю графу табл. 9); понятно, что если в таблице повторяемости уровни расположены в возрастающем порядке (как в табл. 8), то для вычисления обеспеченности нужно производить последовательное суммирование снизу вверх, или (что то же самое), если выполнено суммирование сверху, находить обеспеченности путем вычитания полученных последовательных сумм из общего числа дней для всего периода

обработки (например, для года — из 365 или 366 дней) со сдвижкой их на 1 интервал вниз (см. табл. 8); таким образом абсциссы кривой продолжительности показывают количество дней, в течение которых уровни не опускались ниже данного уровня, или иначе число дней, в течение которых обеспечены более высокие уровни, чем нижняя граница соответствующего интервала. Кривая продолжительности, следовательно, является интегралом кривой повторяемости. Так, например (фиг. 59), при кривой повторяемости $KSTVU$ кривую продолжительности получаем так:

$$RX = UU = a_1;\ PW = UU + V'V = a_1 + a_2;$$
$$NY = UU + V'V + T'T = a_1 + a_2 + a_3;$$
$$KZ = UU + V'V + T'T + S'S = a_1 + a_2 + a_3 + a_4;$$

и кривой продолжительности в этом случае будет кривая $XWYZ$. Удобно кривую продолжительности строить так, чтобы началу координат — нулю — соответствовало значение H_{min}; тогда ординатами будут служить $H - H_{min}$, а максимальная ордината дает H_{max}. Как сказано, число дней t показывает, что уровни воды в течение t дней держались выше уровня H; можно назвать t верхней границей продолжительности; это число дней носит также название п е р и о д а с м а ч и в а н и я, или д л и т е л ь н о с т и з а т о п л е н и я; в соответствии с последним кривую продолжительности (обеспеченности) иногда называют также кривой д л и т е л ь н о с т и з а т о п л е н и я, или з а т о п л я е м о с т и.



Фиг. 60. Кривые повторяемости и продолжительности для р. Сулы у г. Лубен.

4. Для возможности легкого сравнения результатов вычислений продолжительности, относящихся к периодам разной длины, удобно на оси абсцисс откладывать продолжительность, выраженную в процентах от всего периода обработки.

Построение фиг. 60 дает пример подобной обработки. В приведенном примере (из «Щорічника гідрометричної служби», НКЗС УССР, Київ 1927), к сожалению, в обработке не выделены отдельно уровни свободной воды и при явлениях льда.

Кривые обеспеченности имеют большое практическое применение в гидротехнике. Эти кривые широко применяются при расчете напоров (для значений напоров) и мощностей (для значений мощностей) гидросиловых станций. По этим кривым для уровней можно определить ряд характерных значений последних, как, например, уровни, обеспеченные в течение 9 мес. или 6 мес. в году и др. Отметим, что уровень, обеспеченный в течение 355 дней в году, иногда называют «низким промышленным» уровнем.

§ 48. Статистические характеристики

1. В тех случаях, когда уровни являются основной характеристикой для целей тех или иных изучений (изучение затопляемости, вопросы осушения и др.) для месячных и годовых рядов уровней может оказаться целесообразным выполнять обработку по так называемому статистическому способу. Главнейшими статистическими характеристиками являются: 1) медиана M; 2) верхняя квадрильяна K_1; 3) нижняя квадрильяна K_2. Медиана отвечает члену, делящему весь ряд, расположенный в убывающем порядке, на две равновероятных половины. При нечетном числе членов это будет средний член, а при четном — среднее арифметическое из двух средних. Квадрильяны занимают среднее место в обеих поло-

винах такого ряда, заключая между собой половину всех случаев; вне квадрильян лежит $^1/_4$ всех случаев сверху и $^1/_4$ всех случаев, взятых снизу ряда.

2. Общее выражение для места N указанных характеристик в убывающем ряду можно написать так:

$$N = \frac{p \cdot (n-1)}{100} + 1, \tag{15}$$

где p — обеспеченность, причем медиане отвечает 50% обеспеченности, верхней квадрильяне 25% и нижней квадрильяне 75%; n — число всех членов в ряду.

Для вычисления M, K_1 и K_2 для месяцев выписывают месячные значения уровней в убывающем порядке в особые черновые бланки.

Значения M, K_1 и K_2 находятся тогда по таким формулам:

$$M = 1 + \frac{n-1}{2} = \frac{n+1}{2}, \tag{16}$$

$$K_1 = 1 + \frac{n-1}{4} = \frac{n+3}{4}, \tag{17}$$

$$K_2 = 1 + \frac{3(n-1)}{4} = \frac{3n+1}{4}, \tag{18}$$

где n — число всех членов в ряду, расположенном в убывающем порядке.

Формула (16) для медианного члена может быть пояснена также следующим образом:

Если имеем n членов в ряду, то между этими членами будет $(n-1)$ промежутков. Число промежутков от начала ряда до его середины есть $\frac{n-1}{2}$; отсюда место медианы в ряде

$$M = 1 + \frac{n-1}{2}.$$

Формулы (17) и (18) получаются аналогичными рассуждениями.

3. Медиана дает наиболее вероятное среднее значение ряда. Только в том случае, когда кривая частоты была бы симметричной (т. е. имела бы две совершенно одинаковых ветви по обе стороны от наибольшей частоты), медиана совпала бы со средним арифметическим и с уровнем наибольшей частоты («модой»). В ряде случаев (но не всегда) медиана лучше характеризует среднюю высоту уровней, чем среднеарифметическое его значение, ибо на величине медианного члена не отражаются случайные редкие и исключительные подъемы и понижения уровней. Такое значение медиана имеет только для длинных рядов наблюдений; для месячных рядов перемещение уровней на одну-две цифры (в пределы соседних месяцев) в периоды резких колебаний уровней в начале и конце месяца (весна, паводки) может не изменить значения медианы, но изменит значение среднеарифметического; это последнее в этом случае будет отображать явление более правильно.

Для месяцев в 31 день за первый квадрильянный уровень берется значение уровня, отвечающее $8^1/_2$ порядкового члена ряда: $K_1 = 1 + {}^1/_4\,(n-1) = 1 + {}^1/_4\,(31-1) = 1 + {}^1/_4 \cdot 30 = 1 + 7{,}5 = 8{,}5$, т. е. этот уровень находится как среднеарифметическое значение для 8-го и 9-го членов ряда; для 2 квадрильянного члена [по формуле $K_2 = 1 + {}^3/_4\,(n-1)$], для месяца с 31 днем, берется значение $23^1/_2$ члена, т. е. среднеарифметическое из 23-го и 24-го членов; точно так же для месяца в 30 дней имеем $K_1 = 8^1/_4$, т. е. следует взять разницу между 8-м и 9-м членами и $^1/_4$ этой разницы прибавить к значению 8-го члена, и т. д.

Вычисленные порядковые значения чисел ряда для M, K_1 и K_2 для отдельных месяцев даны в нижеследующей табл. 10, а для года — в табл. 11.

4. Для нахождения M, K_1 и K_2 за год пользоваться тем же приемом, что и для месяцев, т. е. располагать все цифры в убывающем порядке, довольно затруднительно. Удобнее в этом случае пользоваться предварительно составленной ведомостью повторяемости стояния уровней воды, наблюденных в течение данного года; по этой ведомости уровни, отвечающие M, K_1 и K_2, могут быть намечены приблизительно, а затем уточнены составлением небольшой вспомогательной таблички.

ТАБЛИЦА 10

Статистические характеристики	Порядковое значение чисел ряда по месяцам											
	I	II в 29 дней	II в 28 дней	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1-я квадрильяна . . .	8½	8	7¾	8½	8¼	8½	8¼	8½	8½	8¼	8½	8¼	8½
Медиана . .	16	15	14½	16	15½	16	15½	16	16	15½	16	15½	16
2-я квадрильяна . . .	23½	22	21¼	23½	22¾	23½	22¾	23½	23½	22¾	23½	22¾	23½

ТАБЛИЦА 11

Статистические характеристики	Порядковое значение чисел ряда за год при убывающем порядке ряда		Порядковое значение чисел ряда за год при возрастающем порядке ряда	
	високосный год	обыкновенный год	високосный год	обыкновенный год
2-я квадрильяна	92¼	92	274¾	274
Медиана	183½	183	183½	183
1-я квадрильяна	274¾	274	92¼	92

Пусть, например, имеем ведомость повторяемости стояния уровней — табл. 8.

Пусть нам нужно найти 2-ю квадрильяну; место ее — 92-й член. Из табл. 8 (см. последнюю графу) видно, что уровень для 92-го члена должен находиться между уровнями интервала 141—150, ибо продолжительность стояния в 87 дней отвечает уровням до 140 *см* и нехватает до нужных 92 дней 5 дней (92—87), отвечающих стоянию каких-то уровней в пределах 141—150. Для выяснения этого составляем вспомогательную детальную ведомость стояния уровней в пределах 141—150 через каждый сантиметр (см. табл. 12).

ТАБЛИЦА 12

Ведомость для вычисления 2-го квадрильянного уровня

Уровни / Месяцы	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150
I . . .	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
II . . .	—	1	1	—	—	—	2	—	—	—
III . . .	1	—	1	—	—	—	—	—	1	—
IV . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
V . . .	—	—	4	—	2	—	2	—	4	—
VI . . .	7	—	1	—	4	—	4	—	—	—
VII . . .	—	—	2	—	1	—	2	—	—	—
VIII . . .	1	—	1	—	—	—	1	—	1	—
IX . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
X . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
XI . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
XII . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Итого .	12	1	10	—	7	—	11	—	6	—

Из ведомости табл. 12 видно, что недостающие до 92 дней 5 дней заключаются в первом вертикальном столбце таблицы, отвечающем уровню 141 *см*; этот уровень и будет искомым 2-м квадрильянным. Точно так же путем составления детальных таблиц повторяемости для соот-

ветствующих пределов можно найти значения M и K_1; в нашем примере для M пришлось бы составлять вспомогательную детальную таблицу для интервала 151—160, а для K_1 — для интервала 201—210.

5. Кроме указанных главных статистических характеристик иногда находят дополнительно такие: 1) характеристики устойчивости, 2) наиболее частый уровень, 3) вероятную расходимость квадрильян, 4) частоту членов, близких к медиане, 5) меру частоты P.

Все эти характеристики в общем случае следует признать за нецелесообразные, особенно в месячных выводах, как в научном отношении, так и в практическом.

а) Для характеристики устойчивости уровней иногда вычисляют отношения:

$$P_1 = \frac{M - H_{мин}}{M - K_2} \text{ и } P_2 = \frac{H_{макс} - M}{K_1 - M}. \quad (19)$$

Если имеет место равномерное распределение значений уровней, т. е. имеют место равенства: $(H_{макс} - K_1) = (K_1 - M) = (M - K_2) = (K_2 - H_{мин})$, то $P_1 = P_2 = 2$. P_1 и P_2 будут больше двух при концентрации значений уровней около величины медианного члена и меньше двух — при близости большинства значений уровней к величинам наибольшим и наименьшим.

б) Наиболее частые или наиболее постоянные уровни находят для месяца разбивкой всех членов убывающего ряда на группы через 5 или 10 *см* и подсчетом числа членов, входящих в каждую группу; наиболее частые уровни будут те, которые отвечают наибольшему числу членов в группе; для года эта характеристика может быть найдена по ведомости продолжительности стояния уровней; так, при данных табл. 8 наиболее частые уровни будут отвечать интервалу 151—160 *см*, держались они 59 дней.

После таких вычислений по отдельным годам наиболее постоянный уровень для ряда лет находится из соотношения:

$$H_{нп} = \frac{h_1 n_1 + h_2 n_2 + \ldots + h_n n_n}{n_1 + n_2 + \ldots + n_n}, \quad (20)$$

где h_i и n_i — наиболее постоянные уровни и соответствующие им числа дней стояния для отдельных лет.

в) Вероятная расходимость квадрильян находится по формуле:

$$R = \frac{K_2 - K_1}{2}. \quad (21)$$

Члены, близкие к медиане, ограничиваются такими величинами:

1) $M + R$ и 2) $M - R$.

г) Частоту членов, близких к медиане, отыскивают по формуле:

$$B = \frac{S}{n}, \quad (22)$$

где S — число членов, близких к медиане, т. е. тех, что находятся в границах $M + R$ и $M - R$; n — число всех членов данного ряда.

д) Мера частости P находится по формуле:

$$P = \frac{m}{n}, \quad (23)$$

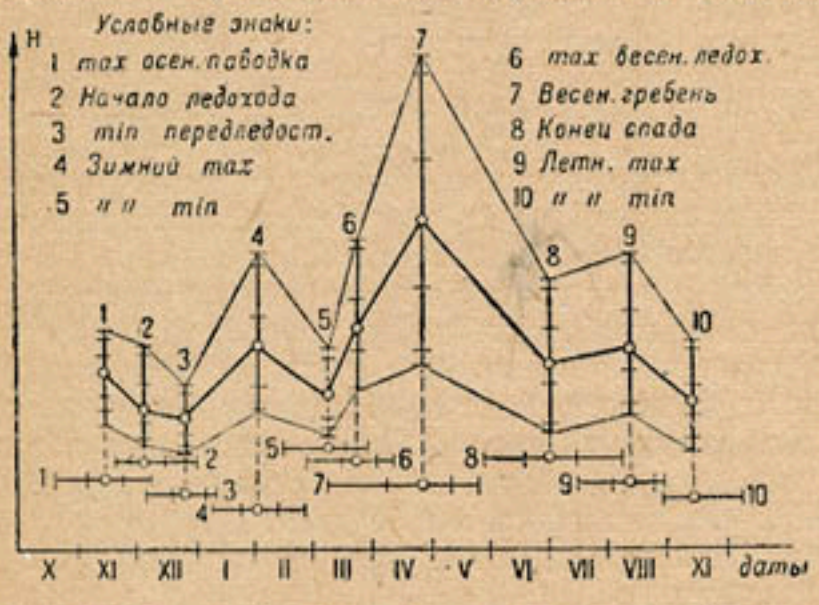
где m — число членов, отвечающих числу наиболее частых уровней.

Обработки по статистическому методу полезно применять для выделения соответствующих значений в рядах, составленных из таких характерных величин, как годовые максимумы, годовые минимумы, даты замерзания, даты вскрытия, продолжительность ледостава и т. п.

§ 49. Типовой график распределения уровней в году

Если статистической обработке в многолетней перспективе подвергнуть все характерные уровни (или расходы) и даты, определяющие естественные переломные моменты в режиме реки или характеризующие свойственные данной реке

особые явления, то можно построить схематизированный типовой график распределения указанных характеристик в многолетней перспективе. Такой график можно строить следующим образом: на оси ординат (фиг. 61) берется шкала уровней (или расходов), а на оси абсцисс — календарь гидрологического года; для каждого явления (например, гребня весеннего половодья, летнего минимума, максимумов летних паводков) подсчитываются члены: медианные, квадрильянные, децильные (т. е. отвечающие обеспеченности в 10% и 90%) и крайние (или ряд еще иных) как для уровней (расходов), так и для дат этого явления; тогда характеристика такого явления изображается на типовом графике вертикальной линией, начало и конец которой отвечают соответствующим показаниям оси ординат, причем иные члены распределения выделяются, например, горизонтальными черточками или кружками с соответствующими обозначениями этих членов; указанная вертикальная линия проводится против медианной даты явления, причем члены распределения дат последнего показываются на горизонтальной линии, проведенной в нижней (или верхней) части чертежа, под или над вертикальной шкалой, характеризующей данное явление. Имея на чертеже ряд составленных по предыдущему характеристик последовательных явлений, можно соединить одноименные точки уровней (или расходов) непрерывными линиями, например, все медианные уровни, затем все крайние и квадрильянные уровни и т. д. Ход этих линий покажет типовой (медианный, крайний и т. д.) ход характерных уровней (или расходов), отвечающих их медианным датам, причем распределение этих последних наглядно изображено на чертеже особо. Такая обработка, выполненная автором для Днепра у Киева[1], дала очень наглядную характеристику основных черт режима этой реки применительно к таким моментам: 1) летний минимум; 2) осенний максимум; 3) дата осеннего ледохода; 4) наивысший уровень осеннего ледохода; 5) наинизший уровень осеннего ледохода; 6) наивысший ледоставный уровень в начале зимы; 7) дата начала ледостава; 8) наивысший уровень в середине или конце зимы; 9) наинизший уровень при ледоставе; 10) дата вскрытия; 11) наивысший уровень весеннего ледохода; 12) гребень весеннего половодья; 13) конец спада половодной воды и 14) наивысшие уровни летних паводков. Такая же обработка была выполнена и для расходов. Типовой график, таким образом, дает в наглядной компактной форме многолетние статистические характеристики всех важнейших сторон режима реки.



Фиг. 61. Типовой график распределения уровней и дат в многолетней перспективе.

§ 50. Обработка явлений, сопутствующих изменениям уровней

1. Из явлений, сопутствующих ходу уровней, наиболее важными являются ледовые явления, именно:

А. Данные по фазам ледовых явлений: 1) даты осеннего ледохода; 2) дата замерзания, т. е. дата начала ледостава; 3) дата начала весеннего ледохода; 4) дата полного очищения реки ото льда; 5) даты вскрытий и замерзаний в середине зимы; 6) продолжительность ледостава.

По данным для отдельных лет выводят в многолетних обработках средние (или медианные) даты и указывают предельные.

[1] См. сборник «Итоги работ Службы гидрологических оповещений Днепростроя» под ред. проф. А. В. Огиевского, Киев 1934 г.

Б. Данные по количественным характеристикам льда:

1) изменения толщины поверхностного льда и 2) данные по подводному, в частности, донному льду и шуге.

2. Для вычисления средних дат предварительно нужно приводить все даты к числу дней, считая от начала месяца с наиболее ранней датой для периода обработки. Например, если дата весеннего половодья приходится за 5 лет на такие сроки: 6/IV, 30/III, 26/II, 8/IV и 17/III, то удобно привести все даты к 1 февраля (28 или 29 дней); тогда имеем:

вместо	6/IV	28 + 31 + 6 = 65
»	30/III	28 + 30 = 58
»	26/II	26
»	8/IV	29 + 31 + 8 = 68
»	17/III	28 + 17 = 45
		Среднее = 52

Отсюда средняя дата: 52 — 28 = 24/III.

3. При перевычислениях со старого стиля на новый удобно предварительно составить переводную табличку для всех лет периода обработки, чтобы не повторять пересчетов.

4. Ряд данных (п. А) вносится в основные таблицы по обработкам уровней (см., например, табл. 7); независимо от этого, особенно для обработок в многолетнем выводе, интересно составлять таблицы детальных характеристик этих данных. Таблицы эти удобно составлять в таком виде:

ТАБЛИЦА 13

Фазы ледовых явлений

Река _____ Водпост _____ Период _____ г.

Годы	Ледоход в начале зимы		Ледостав			Весенний ледоход	
	начало	конец	начало	конец	длительность	начало	конец
1929—1930	18/XI	25/XI	—	—	—	25/II	3/III
	28/XI	12/XII	13/XII	24/XII	12	—	—
	25/XII	28/XII	29/XII	24/II	58	—	—
1930—1931	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .	. . .

В записанном примере видно, что ледоход в начале зимы несколько раз прерывался, так же как и ледостав. При выводе средних обычно в подсчет вводят первые и последние даты ледоходов (осеннего и весеннего), а для ледостава — даты окончательного ледостава и окончательного предвесеннего вскрытия.

5. По составленной таким образом таблице полезно строить график ледовых фаз. На оси ординат наносят, начиная сверху чертежа, календарь — например, с 1/XI по 30/IV, а на оси абсцисс — годы, причем вверху чертежа подписывают годы, отвечающие началу каждого гидрологического года, а внизу — концу (например, вверху — 1929, внизу — в том же столбце — 1930); фазы ледовых явлений удобно изображать такими условными знаками: ледостав — залитые тушью столбики, ледоход — заштрихованные, чисто — пустое пространство. Фиг. 62 показывает схему такого графика.

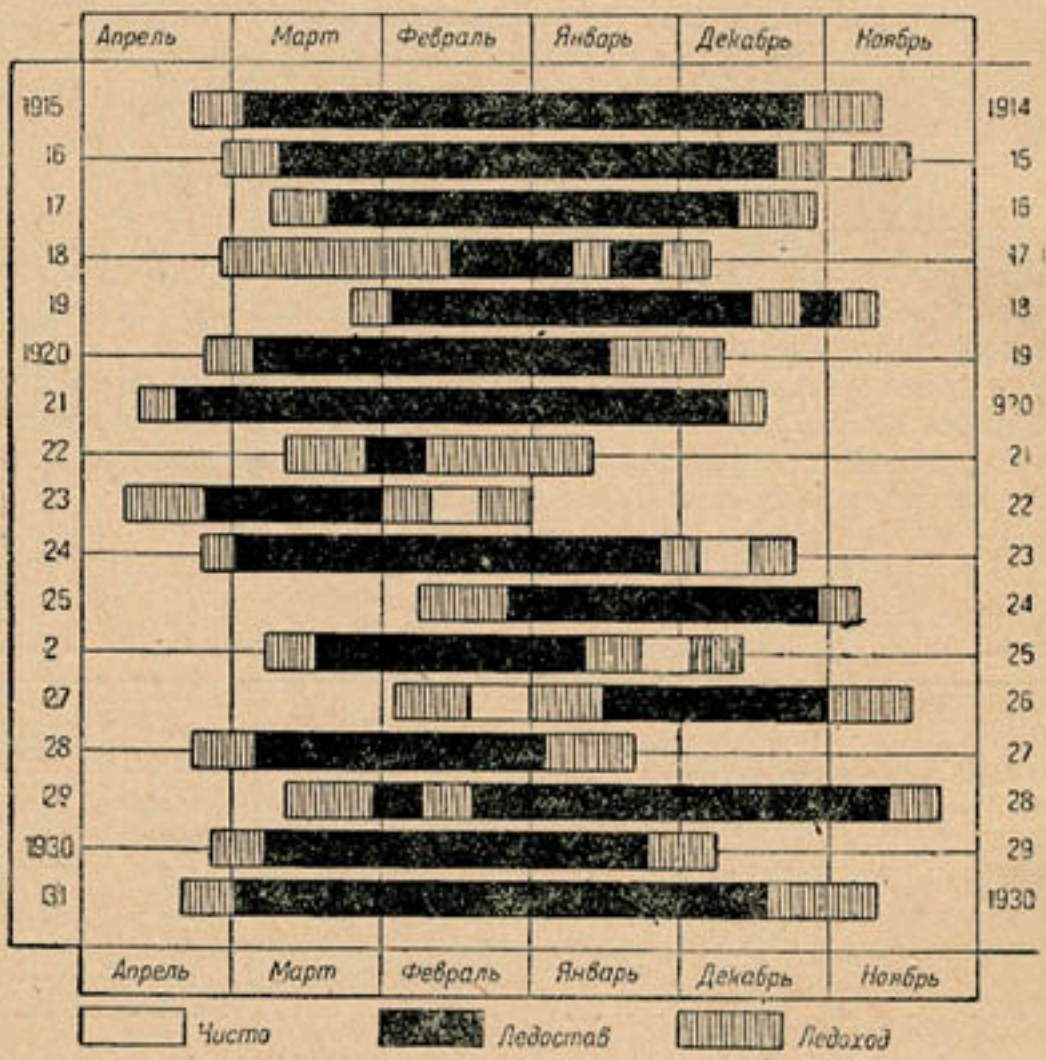
Интересно подобную графическую обработку выполнять для отдельных лет ряда пунктов одной и той же реки или для ряда пунктов на ряде рек. В этом случае пункты наносятся один за другим в первом вертикальном столбце, календарь изображается вверху и внизу чертежа в горизонтальных строчках, а фазы ледовых явлений обозначаются по предыдущему.

6. Данные по количественным характеристикам льда полезно изображать для каждого года в виде соответствующих графиков, аналогичных графикам уровней, т. е. со шкалой календаря на оси абсцисс. При измерениях

толщины льда в двух лунках — посередине реки и у берега — проводятся две соответствующих линии разными условными знаками. Количества подводного льда наносятся на тот же чертеж.

7. На том же чертеже полезно также наносить ход температур воздуха и воды, что интересно для взаимного их сопоставления с ходом ледовых явлений, а также данные по измерениям толщины снега на льду и на берегу.

Полезно также составлять для многолетних обработок сводные таблицы максимальных толщин льда — в середине и в конце зимы.



Фиг. 62. График ледовых явлений.

8. Если данный водомерный пост оборудован для систематических наблюдений за уклонами, т. е. имеется второй уклонный пост, то на графике уровней полезно наносить ход изменений падений (или уклонов). Для ряда лет следует строить графики зависимости падений (или уклонов) от высоты уровней, выделяя особыми условными знаками падения (уклоны) при спадах и подъемах. В некоторых случаях вырисовывается вполне определенная закономерность. Обычно уклоны больше при подъемах, чем при спадах.

9. Если в процессе измерений расходов вычислялись коэфициенты шероховатости, следует строить графики зависимости последних от уровней воды — отдельно для летних и зимних измерений.

10. Наконец, полезно строить графики зависимости от уровней средней глубины и гидравлического радиуса также отдельно для зимы и лета.

§ 51. Кривые связи соответственных уровней

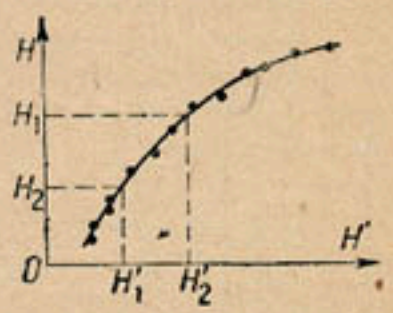
1. В разных пунктах одной и той же реки как амплитуды, так и темпы колебаний уровней могут быть различными в зависимости от характеристик пропускной способности русел у этих пунктов, т. е. от особенностей профилей живых сечений, уклонов воды и характеристик шероховатости.

Соотношение пропускных способностей русла у двух каких-либо пунктов одной и той же бесприточной реки может быть найдено при помощи построения так называемых кривых связи соответственных уровней; в более широком толковании кривые связи соответственных уровней могут быть приближенно построены и для пунктов, расположенных на участке с притоками, и даже для пунктов, лежащих на разных реках. В этом последнем случае кривые связи соответственных уровней могут выражать общий характер соотношений во взаимном ходе колебаний уровней у сравниваемых пунктов.

Под соответственными уровнями практически понимают уровни, соответствующие одинаковым фазам хода уровней в сравниваемых пунктах. За такие одинаковые фазы удобно принимать: 1) гребни самых высоких вод или иных резко выраженных подъемов; 2) самые низкие точки во впадинах низких вод; 3) переломные точки спадов и подъемов; во всех случаях уровни одинаковых фаз тоже должны удовлетворять условию взаимного соответствия этих фаз в отношении времени их наступления, т. е. соответственные уровни нижележащего пункта должны наступать в этом пункте позже, чем в верховом, и притом на некоторый срок, отвечающий возможной средней скорости пробега воды от верхового пункта к низовому. Таким образом каждая кривая связи соответственных уровней предусматривает наличие известной закономерности в датах наступления уровней в низовом пункте по сравнению с датами верхового.

Построение кривой связи соответственных уровней ведется обычно следующим образом:

Взяв в прямоугольных координатах ось ординат за ось для верхового пункта, а ось абсцисс — для низового пункта, наносят затем точки соответственных уровней, выбранных, как указано выше (фиг. 63). Далее, проводят через участки, хорошо освещенные расположением отдельных точек, средние прямые или кривые; если на некоторых участках амплитуд (обычно соответствующих средним уровням) точек соответственных уровней оказывается слишком мало, дополняют их выборкой дополнительных точек, лежащих на соответственных переломах в фазах хода уровней и удовлетворяющих намечающимся средним срокам пробега воды при этих уровнях; в малых перерывах можно участки кривых связи восстановить по экстраполяции от имеющихся, имея в виду вероятную непрерывность в общем ходе кривых связи. Получив графическое изображение кривых связи, нетрудно придать им аналитическое выражение или в виде уравнения кривой или в виде системы уравнений прямых, отвечающих отдельным участкам кривой связи.



Фиг. 63. Кривая связи соответственных уровней.

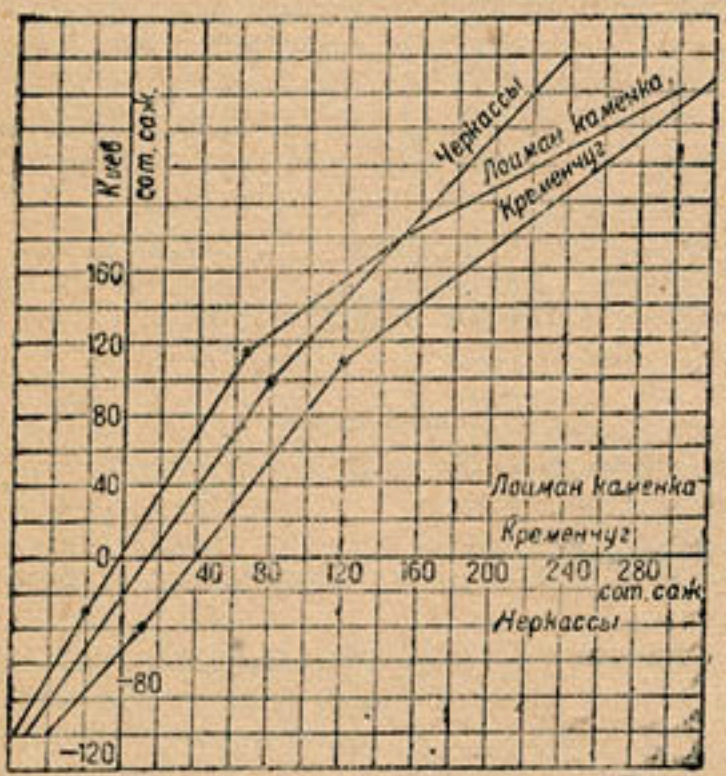
Скорости пробега воды обычно меняются в зависимости от уровней, являясь функцией последних. Средние значения скоростей пробега воды, соответствующие пробегам пик гребней, обычно лежат посередине между скоростями пробега для спада и подъема, причем скорости пробега при подъеме обычно больше, чем при спаде.

Фиг. 64 показывает вид кривых связи соответственных уровней, полученных для ряда пунктов Днепра; как видно соотношение уровней у разных пунктов различно.

В соответствии со способом своего построения кривые связи соответственных уровней однозначны только для тех фаз, по которым они построены, особенно при более или менее значительных расстояниях между связываемыми пунктами. Для иных фаз в ходе уровней кривые связи могут давать иной раз довольно значительные отклонения. Эти последние отклонения обусловливаются: 1) изменчивостью сроков пробега, указанной выше и неучитываемой средними сроками; 2) возможными разными значениями дополнительного стока из притоков промежуточного участка, лежащего между связываемыми пунктами, т. е. значениями промежуточного стока, отличающимися от тех значений, которые обычно имеют место для фаз, по которым выполнено построение. В ряде случаев, однако, особенно при малых расстояниях между связываемыми пунктами, отсутствием строгой

однозначности можно пренебрегать. При малых расстояниях кривые связи можно строить с достаточной для практики точностью даже по любым парным значениям уровней, отвечающим приближенным значениям сроков пробега (одни сутки полсуток).

2. Кривые связи соответственных уровней могут иметь различное полезное применение. Именно: 1) имея кривую связи соответственных уровней для двух пунктов, можно кривую расхода, построенную для одного из пунктов (или отдельные расходы у этого пункта), перевести к показаниям водомерного поста во втором пункте, т. е. перенести в этот последний пункт; близкие к истине результаты тут могут быть обеспечены только при отсутствии существенно значительного промежуточного стока между обоими пунктами или при учете такового (например, путем введения определенных процентных поправок); 2) далее, кривые связи соответственных уровней могут служить для восполнения недостающих за какой-либо период данных по уровням по одному из пунктов; 3) в иных случаях кривые связи позволяют легко обнаружить ошибки в записях данных об уровнях по какому-либо из ненадежных пунктов наблюдений, если по этому пункту имеется период с верными данными и если между таковыми и показаниями ближайшего соседнего поста могут быть установлены кривые связи; 4) наконец, широкое применение имеют кривые связи соответственных уровней в гидрологических прогнозах, ибо позволяют определять по уровням верхового пункта те уровни в низовом пункте (связанном с верховым), которые там должны наступить по истечении срока пробега воды от верхового пункта к низовому.



Фиг. 64. Пример кривых связи соответственных уровней для Днепра.

Практика гидрологических прогнозов выработала также ряд приемов, устраняющих неточности от неоднозначности кривых связи для фаз, отличающихся от тех, на основе сопоставления коих было выполнено построение кривых связи.

3. Следует отметить, что в соответствии со сказанным практикуемое иногда построение кривых связи уровней не по соответственным уровням, а по одновременно наблюдаемым (однодневным) — для более или менее удаленных пунктов, должно давать связь, отличающуюся от связи соответственных уровней; если в основу построения положено больше точек спада, чем подъема, то получаемая кривая связи будет лежать правее, чем первая, в противном же случае — левее. Поле точек всегда в таких случаях отличается более или менее значительною разбросанностью и тем более резко выраженной, чем больше действительный средний срок пробега между связываемыми пунктами, игнорируемый в таком построении. В связи с этим последним обстоятельством такая кривая связи должна значительно более грубо учитывать действительные соотношения уровней в связываемых пунктах, чем кривая, построенная по соотношению действительно соответственных уровней и с соблюдением средних сроков пробега.

ГЛАВА IX

УСТРОЙСТВО ГИДРОМЕТРИЧЕСКОГО СТВОРА

§ 52. Выбор направления створа и его закрепление

А. Постоянные створы основной гидрометрической сети обычно предназначаются для измерения скоростей течения при помощи вертушки или при помощи других приборов, дающих возможность измерять скорости в отдельных точках.

В настоящей главе имеется в виду, главным образом, именно указанный основной случай. Особенности устройства и оборудования створа для облегченных измерений поплавками будут разобраны далее в § 86.

После того как удобное место для измерений расходов намечено и подробно обследовано промерами и нивелировкой (§ 21 и 22), выбирается рабочий створ, т. е. то сечение реки, к которому предполагается приурочивать все измерения скоростей.

Обычно створ намечается посередине выбранного участка или еще лучше несколько ниже по течению, примерно так, чтобы разделить участок в отношении 2 : 1. Кроме основного створа намечаются вспомогательные — верховой и низовой; расстояние этих последних от основного створа берется такое, чтобы поплавок, пущенный по стрежню реки, покрыл расстояние между верховым и низовым створами в 20—30 сек. (§ 86). Для больших рек с шириной, большей 50 *м*, это расстояние должно быть не меньше ширины реки. При существовании моста такой конструкции, которая не вызывает подпора от средних и высоких вод, с целью упрощения оборудования створного сечения удобно приноровить створ к этому мосту, именно к низовому его краю.

Б. Следует иметь в виду, что получение наиболее близкого к действительности значения расхода можно ожидать в тех случаях, когда створное сечение перпендикулярно к направлению струй и ему соответствует наименьшая площадь живого сечения.

В самом деле, по определению понятия расхода элементарный расход в любой точке живого сечения выражается так:

$$q = v \cdot \omega, \tag{24}$$

где v — скорость элементарной струйки; ω — площадка живого сечения, нормальная к направлению струйки.

Пусть имеем створное сечение 00 (фиг. 65), направление коего не перпендикулярно к направлению струи, а составляет с таким перпендикулярным направлением $0'0'$ угол α. Элементарный расход в точке A, где имеет место косая (по отношению к створу) струя BA со скоростью v', будет равен

$$q = v'\omega', \tag{25}$$

где ω' — нормальная к струе элементарная площадка.

Угол между струйкой BA и нормалью к створному сечению в точке A будет равен углу α; элементарную площадку, отвечающую струйке BA, но совпадающую с направлением створного сечения, обозначим через ω.

Тогда имеем $\omega' = \omega \cdot \cos \alpha$, т. е.

$$q = v' \cdot \omega \cdot \cos \alpha. \tag{26}$$

Тогда весь расход через створное сечение выразится так:

$$Q = \sum q = \sum v'\omega \cdot \cos \alpha = \cos \alpha \sum v' \omega. \tag{27}$$

Отсюда видно, что при косом направлении створного сечения по отношению к струям получаемый расход $\Sigma v'\omega$ нужно помножить еще на $\cos \alpha$, т. е. без введения сомножителя в виде $\cos \alpha$ расход будет преувеличенный. Вместо соотношения (26), так как $v' \cdot \cos \alpha = v$, можно написать $q = v \cdot \omega$, т. е. при измерениях расходов на косом створе для получения правильного результата следует вместо измеренных скоростей для косых струй BA вводить в расчет нор-

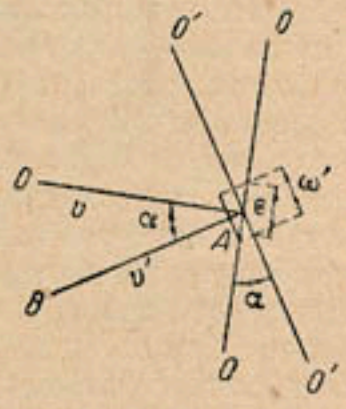
мальные к створному сечению составляющие этих скоростей, т. е. опять результат измерений помножить на cos α.

В. Обычно направление всех струй на створном сечении не целиком идентично, особенно на больших реках; в таких случаях направление створного сечения должно быть выбрано так, чтобы оно было нормально по отношению к большинству струй сечения.

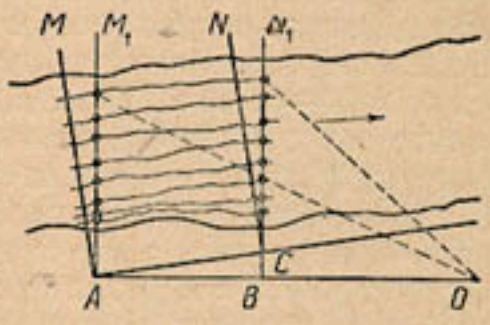
1. В реках небольших и нешироких вполне возможно назначение направления створа на-глаз или по плану реки с нанесенными на нем изобатами и горизонталями поймы — перпендикулярно общему направлению последних.

На реках же широких, особенно в случаях не особенно правильного очертания русла, необходимо применять один из следующих приемов:

2. Первый прием состоит в том, что от магистрали ABD назначают на-глаз два приблизительно перпендикулярные к направлению струй створа AM_1 и BN_1 (фиг. 66), перпендикулярные к магистрали; расстояние между створами берется такое, чтобы поплавки проходили это расстояние в 20—30 сек. На магистрали



Фиг. 65. Косина струй на створе.



Фиг. 66. Выбор направления створа.

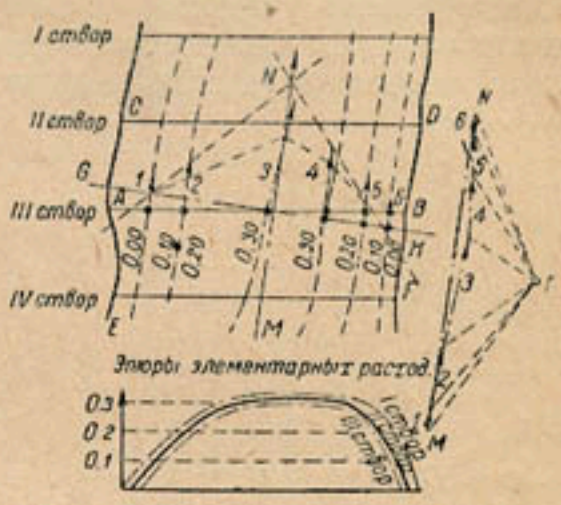
устанавливается мензула (или другой угломерный прибор); пуская последовательно ряд поплавков, которые проходят через створы AM_1 и BN_1 в разных их точках, засекают эти точки мензулой и наносят затем на план; после этого по полученным направлениям отдельных струй намечают более точно общее их направление, параллельно которому разбивается новый базис AC, а основной гидрометрический створ — AM или CN — разбивается нормально к новому базису; это последнее направление переносится затем на местность.

3. Можно параллельно с изменением направления струй измерять также их скорости (§ 86). Тогда на плане реки, на намеченном основном створе, можно отложить величины и направления полученных скоростей в виде соответствующих векторов с точками их приложения в местах засечек поплавков. Имея такие векторы, ищут их равнодействующую по обычным правилам графостатики путем построения веревочного многоугольника. Направление створа задается тогда нормально к равнодействующей.

4. Можно также применять предложенный для поплавочных измерений инж. Моисеенко (по идее Жуковского) способ линий равных элементарных расходов, удобный для больших рек. Для этого надо разбить 5 параллельных и равноудаленных створов, по трем средним из них промерить глубины и определить скорости течения между створами I—III, II—IV и III—V (см. § 87); эти скорости относят соответственно к створам *II*, *III* и *IV* (фиг. 67). Для каждого из последних створов строят затем эпюры поверхностных скоростей и путем перемножения скоростей на глубины эпюры фиктивных расходов (§ 88). На этих эпюрах далее проводят горизонтальные линии, отвечающие круглым значениям элементарных расходов q (например, 0,1; 0,2; 0,3 и т. д.) и точки пересечения их с кривыми q переносят на створы; по этим последним точкам проводят линии элементарных расходов. Затем для среднего створа, для каждой точки линии элементарных расходов, вычисляют частичный расход, как равный элементарному расходу, помноженному на половины расстояний (по створу) до соседних линий элементарных

расходов; эти величины откладывают в виде векторов по касательным в соответствующих точках к линиям элементарных расходов на среднем створе. По полученным векторам далее строится веревочный многоугольник, из которого определяется направление равнодействующей, а по последней — и направление створа. Такое же построение можно выполнить по вертушечным измерениям скоростей (способ Жуковского).

5. Если имеется вертушка с приспособлениями для определения направления скоростей (§ 71), то можно поступать так. Примерно перпендикулярно к направлению потока разбивается створ. На этом створе назначаются через каждые 5—10—20 *м* (смотря по ширине реки) вертикали, на которых определяются направления скоростей; эти определения достаточно производить для верхних третей вертикалей (на поверхности, на $^1/_6$ и $^1/_3$ глубины вертикали от поверхности).

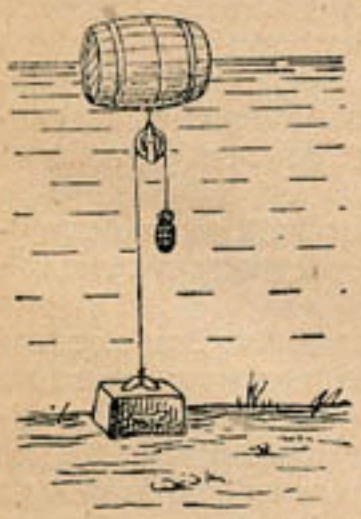


Фиг. 67. Построения для выбора направления створа по Моисеенко.

Измеренные направления скоростей наносят на план створа; нужное направление створа определяют тогда проведением на плане прямой, перпендикулярной к направлению главных струй потока, т. е. струй, расположенных в зоне максимальных скоростей, или путем построения, указанного выше в п. 4. Полученное направление переносится затем на местность.

Из всех приведенных способов предпочтительными перед другими являются способы четвертый и второй.

Г. Определение направления основного створа следует обязательно производить как при меженнем, так и при высоком стоянии горизонтов, ибо направление скоростей при высоких водах в общем случае не совпадает с их направлением при низкой воде.



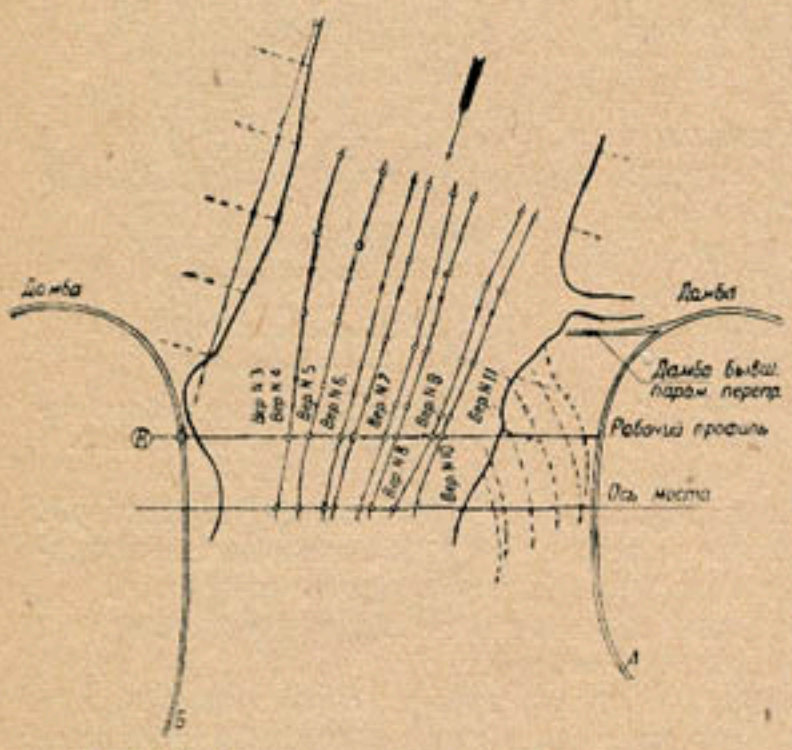
Фиг. 68. Поплавок-буек.

После окончательного выбора направления рабочего створа разбивают параллельно ему два вспомогательных створа, о которых говорилось в начале этого параграфа. Затем все створы закрепляют на местности при помощи прочных плановых реперов, которые обычно в то же время служат реперами высотными (§ 32). Реперы устанавливаются на обоих берегах в месте, никогда не затопляемом и достаточно прочном, в плоскости створных сечений, и обозначаются нумерами и надписями обычных сведений. Один из реперов основного рабочего створа принимается за постоянную начальную точку для разбивки вертикалей. Для ориентирования гидрометрических приборов во время измерений на широких реках, кроме того, в плоскости створа устанавливаются прочные столбы (вехи) — по две на каждом берегу. При очень широких реках, не ограничиваясь вехами, устанавливают иногда еще в русле реки ряд буйков-поплавков; эти буйки (например, обычные бочки) устанавливаются на якорях через каждые 100—200 *м*, причем закрепление к якорю делается при помощи блока, через который пропускается бечева с противовесом — грузом; этим обеспечивается удерживание буйка на месте на поверхности воды при всяких изменениях уровней (фиг. 68).

После окончательного выбора рабочего и вспомогательных створов выполняются тщательные промеры и нивелировки, на основании которых составляются чертежи профилей применительно к сказанному ранее в § 22.

Уже отмечалось (§ 21), что обычно для высоких и для низких вод приходится устраивать два особых гидрометрических створа, приспособленных к условиям разного распределения скоростей в этих обоих случаях.

Д. На фиг. 69 дан пример весьма неудачного выбора гидрометрического створа на одном из крупных притоков Днепра. Направление створа ориентировано перпендикулярно к поверхностным струям весьма высокой весенней воды, выступающей из коренных берегов и идущей по пойме между двумя направляющими дамбами у подходов к мосту. Однако, так как направление дамб, определяющих направление поверхностных струй высокой воды, не совпадает с направлением коренных берегов, то при весьма высокой воде имеет место такая картина: поверхностные струи на глубине, отвечающей глубине затопленной поймы, имеют направление, не совпадающее с направлением струй в коренных берегах. Поэтому при весьма высокой воде имеют место ошибки от неперпендикулярности к створу нижних струй, но зато устраняются ошибки для верхних струй; при средневысокой воде створ дает целиком ошибочные результаты.



Фиг. 69. Пример неудачного выбора створа.

§ 53. Оборудование створа

Для измерения скоростей в отдельных точках живого сечения необходимы устройства, которые позволяют установить точно вертушку или другой инструмент в нужной точке, или как говорят, на нужной вертикали, и спокойно производить наблюдения в течение известного промежутка времени. Конструкция этих устройств зависит от важности и продолжительности предполагаемых работ, от местных условий, характера и величины реки и, наконец, от размера соответствующих средств. Эти устройства необходимо предусмотреть и выполнить заранее.

Устройства для гидрометрических измерений можно подразделить на следующие категории: 1) мостики — балочные и подвесные; 2) подвесные люльки; 3) лодки; 4) паромы.

1. Для малых рек и ручьев удобно устраивать м о с т и к и. Эти мостики на каналах и ручьях могут представлять собой доску, перекинутую с берега на берег; на речках шириной в 12—15 *м* можно перекидывать 2—3 бревна. При более широких речках применяют шпренгельные конструкции и делают несколько пролетов. Временные промежуточные опоры на малых речках лучше делать из толстых досок, поставленных узким ребром против течения. Удобны для применения разборные мостики на легких козловых опорах с настилом из жердей или досок; козлы могут по мере надобности переставляться по всей ширине реки (фиг. 70).

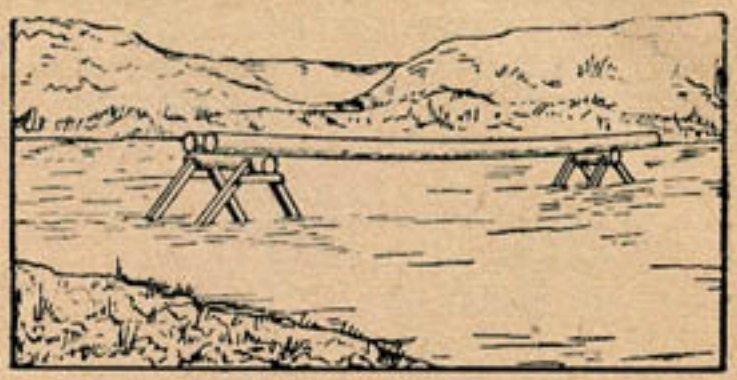
Фиг. 71 дает схему постоянного перекидного мостика, принятого в американской гидрометрической практике.

При ширине реки до 50 *м*, при больших скоростях и глубинах или при подвижном дне, удобно устраивать на постоянных створных с е ч е н и я х в и с я ч и е м о с т и к и. Возможная конструкция висячего мостика дана на фиг. 72; две пары стальных оцинкованных тросов сечением около 10 *мм* перетягиваются через реку; на берегах они подпираются особыми подпорными рамами. Верхние тросы, принимая на себя часть нагрузки, в то же время служат поручнями.

Фиг. 73 дает снимок с висячего мостика на гидрометрическом створе Терека в г. Орджоникидзе.

2. П о д в е с н ы е л ю л ь к и. На реках с резкими колебаниями уровней,

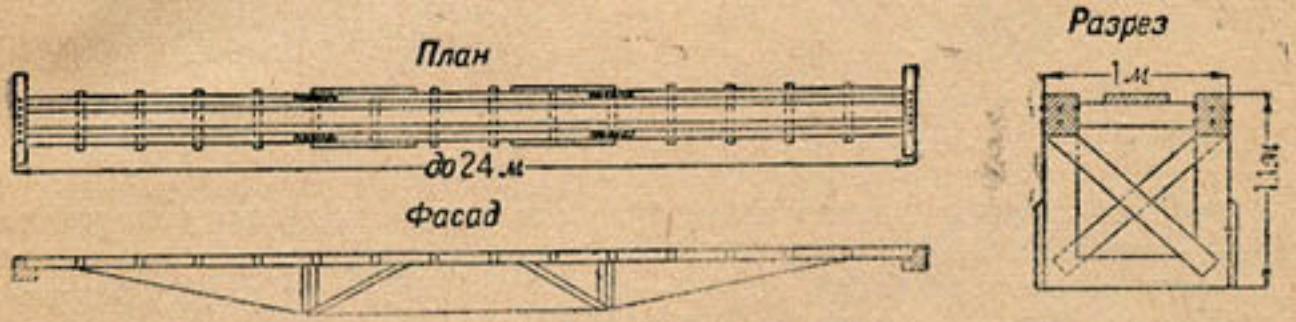
быстрым течением и высокими берегами удобной для измерений является установка подвесной на тросе люльки; люлька имеет размеры, достаточные для помещения там двух или одного наблюдателя с инструментами (обычно 1,6 × 0,7 *м*) и передвигается по перекинутому через реку тросу или самим наблюдателем или при помощи оттяжек — с берега (фиг. 74 и 75).



Фиг. 70. Мостик на козлах.

Вся система должна быть проверена расчетом по правилам строительной механики и перед пуском в работу испробована пробной нагрузкой, раза в два-три превышающей действительную.

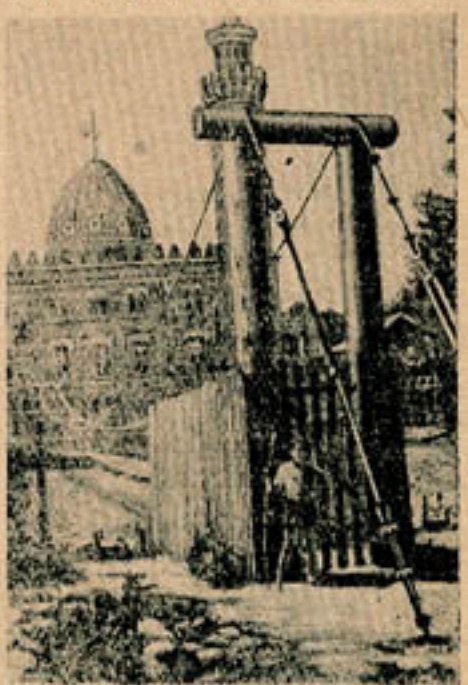
Инж. Альбрехт предложил устраивать люльку для помещения в ней только одной вертушки (фиг. 76); вертушку передвигают с берега при помощи оттяжек, пропущенных через



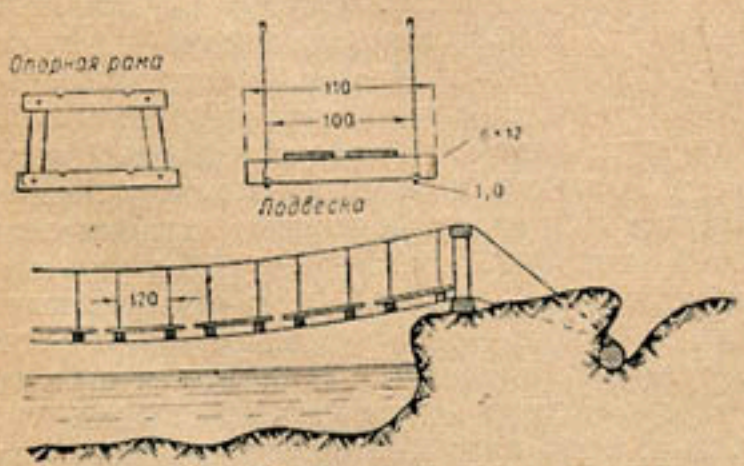
Фиг. 71. Перекидной мостик.

блоки (фиг. 76 справа). При таком устройстве трос, опоры и люлька могут быть выполнены в значительно облегченном виде; однако нет возможности непосредственно наблюдать за погружением в воду и работой вертушки.

3. Л о д к и. Лодки с успехом применяются на не особенно больших несудоходных реках; лодка в случае тихого течения может удержи-



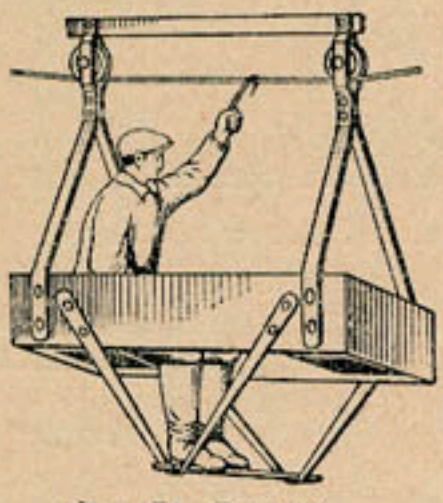
Фиг. 73. Висячий мостик через Терек.



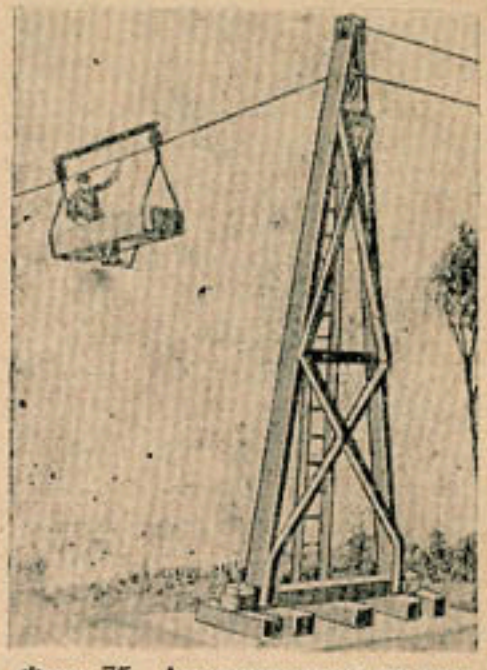
Фиг. 72. Висячий мостик.

ваться на месте рабочим, сидящим на носу лодки, за тот же трос, который служит для обозначения вертикалей. Для устранения заметного натягивания и относа троса необходимо на корму лодки помещать опытного рабочего с одним или двумя шестами, упором коих в дно осуществляется устойчивое положение

лодки в нужном месте. При быстром течении и больших глубинах удерживание лодки на месте следует осуществлять применением в т о р о г о удерживающего т р о с а или же двух оттяжек от лодки, идущих на берега и закрепляемых там к прочно забитым кольям; рабочий может передвигать лодку по створу, отпуская один конец оттяжки и выбирая второй.



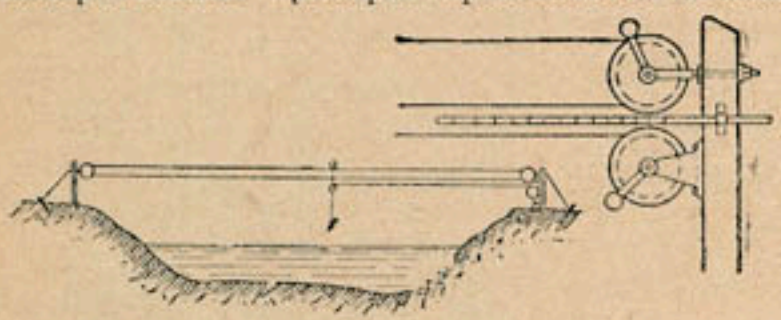
Фиг. 74. Люлька.



Фиг. 75. Американская подвесная люлька.

При широких реках лодка может удерживаться на месте при помощи трех якорей — верхового и двух низовых. Для опускания вертушки на тросе на носу лодки устраивают деревянный вынос — стрелу с блоком на конце; величина выноса должна быть не меньше 1 *м*. При опускании вертушки с борта вынос должен быть не меньше ширины лодки (§ 67).

4. П а р о м ы. При работе на широких и глубоких реках для установки измерительных приборов применяются особые понтоны, или паромы. Сущность устройства состоит в соединении брусчатой рамой и дощатым помостом двух лодок так, чтобы расстояние между обеими лодками обеспечивало достаточную устойчивость всей системы и удобство работы с понтона вертушкой. Иногда вместо лодок берут металлические поплавки.



Фиг. 76. Конструкция Альбрехта.

На фиг. 77 показано обычное устройство парома.

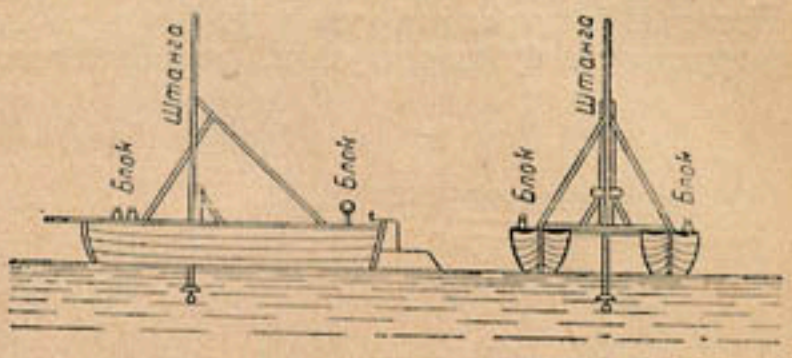
Вертушка может опускаться в воду с понтона: 1) впереди носовой части, для чего помост выдвигается вперед по течению и расстояние между лодками берется возможно большее во избежание подпора, изменяющего распределение скоростей; 2) между лодками в носовой части (фиг. 77); в этом случае также необходимо раздвигать лодки как можно больше — на $2—2^1/_2$ *м*; при небольшом расстоянии между лодками скорости у поверхности воды могут сильно искажаться от влияния дна лодок; 3) с бортов, для чего настил выносится в сторону; в этом случае расстояние между лодками может быть небольшое.

Ввиду практических удобств чаще всего применяется установка вертушки между лодками.

В отношении передвижения паромов по створу можно различать такие случаи: 1) передвижение по тросу; 2) передвижение по принципу самолета; 3) передвижение при помощи системы якорей.

а) Передвижение парома непосредственно по тросу удобно производить на реках нешироких и с тихим течением (фиг. 78); для этого через реку перекидывают дополнительный трос, по которому перемещается носовая часть парома. Трос

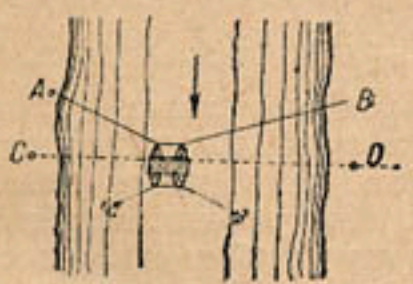
можно пропустить через две пары роликов-блоков, устанавливаемых в передней части парома (фиг. 79). Толщина троса в зависимости от ширины реки и скорости течения варьирует обычно в пределах 8—20 *мм*. По длине он должен превышать ширину реки на 50—100%. Трос закрепляется на одном из берегов наглухо, а на другом наматывается на барабан лебедки или шпиля. При проходе судов трос затопляют.



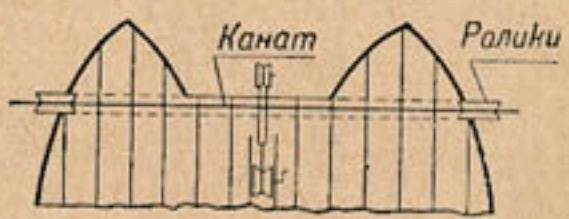
Фиг. 77. Паром.

Для избежания утраты связи с тросом к последнему прикрепляют при помощи блока дополнительный тросик длиной в 20—30 *м*, второй конец которого всегда закреплен на пароме. Применение таких паромов возможно на реках с шириной до 300—400 *м*. Для удержания же на месте кормовой части закидывают два якоря (фиг. 78), лучше всего ближе к обоим берегам; выбирая канат от одного якоря и отпуская от другого, можно регулировать передвижение кормы. Можно также и для кормовой части перекидывать второй трос; надобность в якорях тогда отпадает.

б) Передвижение парома по принципу самолета возможно на реках с быстрым течением; для этого на перетянутый через реку трос AB (фиг. 80) надевается бегучий блок с петлей, к которой прикрепляется удерживающий трос от парома. Действуя рулем, придают парому косое положение по отношению к направлению течения, вследствие чего сила давления струй P на паром разлагается на две силы: параллельную положению парома силу R и параллельную тросу AB силу S; эта последняя сила и производит перемещение парома по створу.



Фиг. 78. Схема передвижения парома.



Фиг. 79. Укрепление троса на пароме.

в) На широких реках, где нет возможности натянуть в створном сечении трос и потому приходится устанавливать паром по створам (§ 92), применяется способ закрепления парома при помощи якорей. При этом применяются два способа. По первому способу бросается выше по течению якорь, к которому паром прикрепляется на длинном тросе; от боковых перемещений паром удерживается еще двумя якорями — боковыми или задними (фиг. 81); по второму способу паром закрепляется четырьмя боковыми якорями, причем передняя по течению пара выносится несколько выше парома.

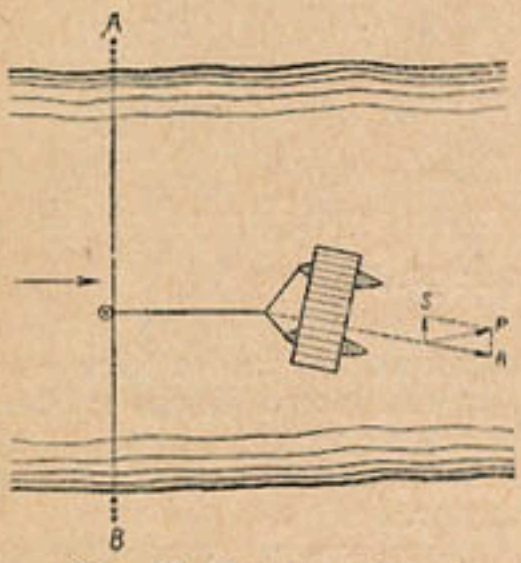
При первом способе верховой якорь может служить без перестановки для нескольких вертикалей, иногда даже для всей ширины реки; перемещать приходится только боковые или задние якори; при втором способе все якоря приходится переставлять почти при каждом изменении положения парома. Для перестановки якорей служат особые лодки, оборудованные соответствующим образом. На очень больших реках во время половодья трудную и иногда опасную работу по перемещению якорей удобно делать при помощи пароходов или моторных судов.

Для защиты от дождя и солнца на пароме строится б у д к а, в которой также сохраняются и все приборы, нужные при работах.

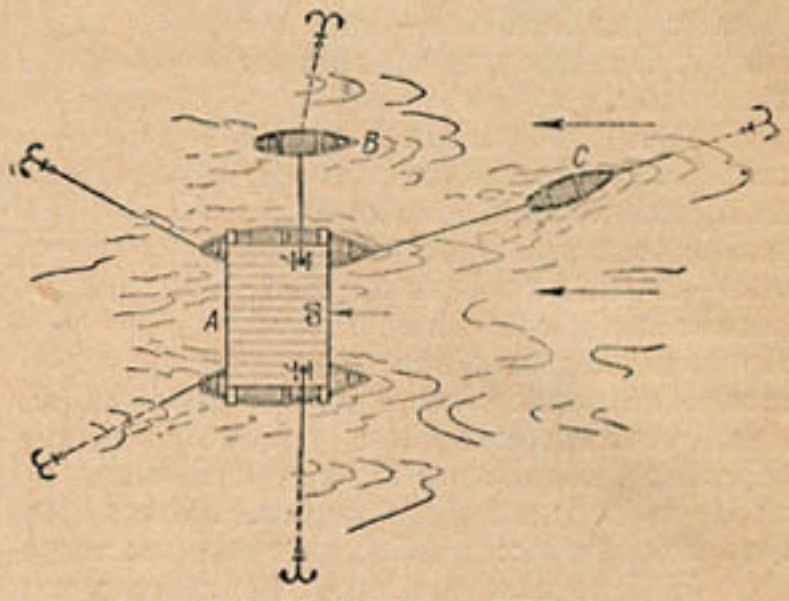
При пароме для связи с берегом должна находиться небольшая лодка. Паромы и лодки всегда должны снабжаться спасательными и сигнальными принадлежностями: кругами, баграми, шестами, флажками, трубой или сиреной.

5. Все вышесказанное относилось к производству гидрометрических работ в теплую половину года.

Для зимних измерений расходов необходимы устройства, обеспечивающие спокойную и удобную работу наблюдателя. Это достигается сооружением будки-теплушки, устанавливаемой на полозьях для перевозки



Фиг. 80. Паром-самолет.



Фиг. 81. Паром на якорях.

с места на место. Будка обивается внутри войлоком и снабжается небольшой печкой (фиг. 82); в полу ее сделано отверстие, через которое вертушка опускается в прорубь для измерения скоростей; для освещения будки в ней делается одно или два окна.

Фиг. 82. Будка-теплушка.

§ 54. Содержание створа

Окончательные характеристики створа могут быть получены только лишь после выполнения измерения расхода. В процессе первых измерений на створах основной сети обычно назначаются определенные постоянные скоростные вертикали, к которым приурочиваются все дальнейшие измерения скоростей. В случае широких рек местоположение назначенных скоростных вертикалей фиксируется обычно установкой на берегах постоянных створных знаков (§ 92). Все характеристики створа с подробным его описанием и с приложением ряда чертежей заносятся в технический список створа (§ 36).

Наблюдающий персонал при гидрометрических створах может иметься лишь в случаях совпадения гидрометрического створа с водомерным постом, а также на постоянно действующих гидрометрических и гидрологических станциях. Поэтому во всех остальных случаях для обеспечения постоянного наблюдения за состоянием опорных знаков створа таковые наблюдения должны поручаться наблюдателю ближайшего водомерного поста.

Для проверки состояния русла на гидрометрическом створе следует производить не менее двух раз в году — весной перед половодьем и летом после спада воды — контрольные промеры и нивелировки поперечников по всем трем створам.

В случае наличия значительных изменений реки в плане должна быть произведена повторная съемка всего рабочего участка реки; таковая должна опираться на основную сеть опорных точек участка.

ОТДЕЛ ЧЕТВЕРТЫЙ

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТЕЙ

ГЛАВА X

СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ В ОТКРЫТОМ РУСЛЕ

§ 55. Цели измерения скоростей. Общий характер течения в реках

Измерения скоростей течения имеют главной целью вычисления расхода воды. Однако в ряде случаев измерение скоростей может преследовать и самостоятельные цели. Таковы, например, измерения скоростей и их направления в связи с устройством гидротехнических сооружений, в связи с нуждами судоходства и безопасностью плавания судов.

Свойственное естественным рекам извилистое очертание их в плане, чередование различных глубин, в частности, перекатов и плесов, а также различие в уклонах на отдельных участках обусловливают весьма сложную картину обычного распределения скоростей течения. Теоретические соображения гидравлики пока не в состоянии осветить эту картину сколько-нибудь исчерпывающе и близко к действительности и в лучшем случае помогают лишь несколько ориентироваться в этом сложном вопросе.

Исследования ряда ученых (и прежде всего русского инж. Н. С. Лелявского — 1893—1894 гг.) показали, что во всех точках живого сечения струйки воды или сходятся или расходятся как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении, не совпадая при этом в точности ни с нормалью к сечению, ни одна с другой. Наибольшие отклонения даже на сравнительно правильных участках могут доходить до 75°—78°, а в вертикальном направлении вверх — до 18° и вниз — до 26° (по исследованиям на Днепре и Десне инж. Н. С. Лелявского). В отдельных случаях может иметь место даже обратное направление течения некоторых струй, как, например, в водоворотах. Такие неправильности в направлении скоростей течения особенно ярко проявляются на неправильных участках речного русла.

На плесах изогнутых участков реки имеет место обычно так называемое сбойное течение, при котором струи прижимаются к вогнутому берегу, причем имеется тенденция к придонному движению от поверхности воды у берега ко дну и далее поперек реки; на перекатах, имеющих место на прямолинейных участках, струи более или менее беспорядочно разбрасываются по всему живому сечению. Как только река выступает из берегов и заливает пойму, характер течения еще более усложняется. Общее направление течения в пойме стремится согласоваться с общим направлением долины реки, а не меандров ее коренного русла; поэтому образуются два потока: верхний (пойменный) и нижний — в коренном русле реки. Их взаимодействие носит очень сложный характер, совершенно неисследованный. Повидимому, в плоскостях соприкосновения верхнего потока с нижним могут образовываться донные водовороты, косые струи и т. п., сильно влияющие на процессы деформации русла.

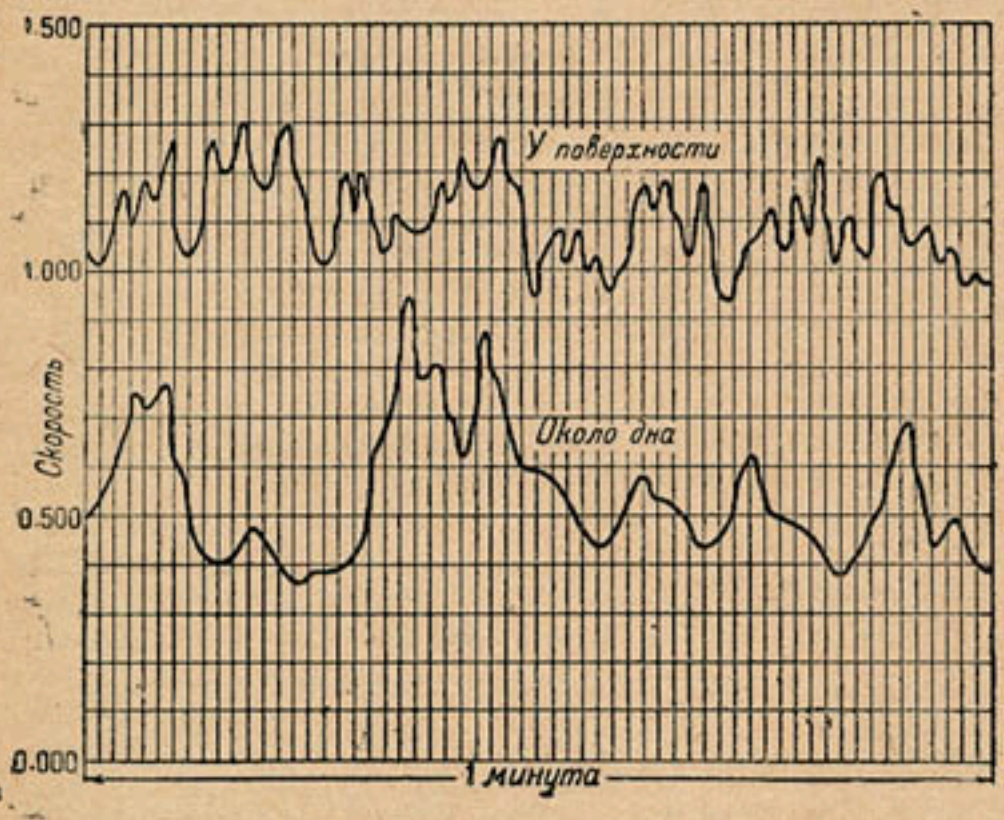
§ 56. Скорости в точке. Пульсация

Кроме явления непараллельности струи в сечении задача об измерении скоростей осложняется наличием явления п у л ь с а ц и и, неразрывно связанного с турбулентностью движения. Как показывают наблюдения, скорость каждой элементарной струйки потока не остается постоянной ни по величине, ни по направлению, а подвержена непрерывным колебаниям около какого-то среднего значения.

Явление пульсации лучше всего может быть наблюдаемо при помощи чувствительных вертушек, соединенных с особыми самопишущими приборами — хро-

нографами (§ 72); эти последние автоматически записывают на бумажной ленте последовательные мгновенные значения скоростей в точке установки вертушки, тем самым давая возможность получать графики пульсации. Фиг. 83 дает два примера таких графиков: вверху — для точки у поверхности, внизу — для точки у дна. Как видно из фигуры, изменения мгновенных скоростей в последовательно взятые моменты весьма причудливы.

В противоположность наблюдаемым мгновенным пульсирующим скоростям в гидравлике введено понятие осредненной скорости (Буссинеск); под последней можно разуметь среднее значение скорости, вычисленной по мгновенным скоростям для некоторого промежутка времени, включающего ряд последовательных мгновенных скоростей. Как показывает опыт, осредненные значения скоростей в противоположность мгновенным являются в достаточной мере практически устойчивыми, если взять достаточно длительный промежуток времени.



Фиг. 83. Пульсация.

Явление пульсации изучено еще недостаточно в силу своей сложности; в общих чертах выводы по изучению пульсации сводятся в настоящее время к следующему:

1. Характер пульсации различен для разных потоков или для разных участков одной и той же реки; на тихих участках пульсация меньше, чем на бурных.

2. Величина пульсации различна при различных уровнях для одних и тех же мест наблюдений.

3. Величина пульсации в одном и том же живом сечении и при одном и том же уровне обратно пропорциональна скорости; наименьшее значение пульсации имеет вблизи поверхности воды у стрежня потока; наибольшее значение она имеет у дна и у берегов, что, повидимому, зависит от возрастания сопротивления движению воды на поверхности дна и берегов.

4. Под ледяным покровом величина пульсации в несколько раз больше, чем в открытом русле; зависимость ее от близости ко дну и к ледяной коре неясна.

5. Периодичность колебаний не может быть установлена; получается впечатление полного беспорядка в движении отдельных струек.

6. Относительная величина колебаний скоростей около поверхности равна примерно 4—6% от осредненного значения скорости; около дна колебания достигают иногда величины в 100%; возможны случаи, когда у дна движение приостанавливается или даже скорость получает обратное направление.

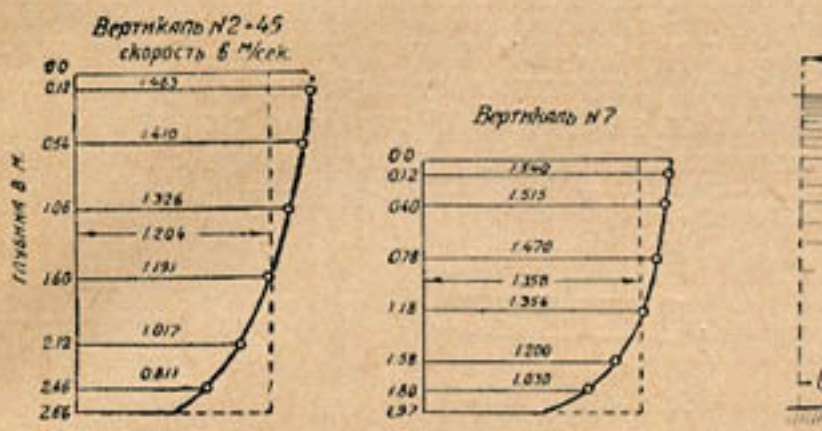
Промежуток времени, достаточный для получения устойчивой осредненной скорости (или, как говорят, для исключения пульсации), в разных условиях следует брать разным; этот промежуток времени измеряется обычно единицами минут.

Для простоты дальнейшего изложения условимся, что в отношении скоростей в отдельных точках далее речь будет итти всегда об указанных осредненных скоростях и без упоминания термина «осредненные».

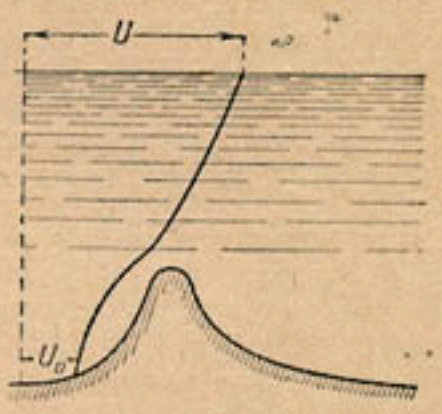
§ 57. Скорости на вертикалях

1. Обычная общая картина распределения осредненных скоростей отдельных струй такова: обычно наибольшие скорости имеют место ближе к середине реки и к поверхности воды, чем к берегам и ко дну, ибо у берегов тормозящее влияние трения частиц о поверхность русла выявляется сильнее.

Для более детального изучения обычного распределения скоростей в живом сечении реки рассмотрим распределение скоростей на отдельных вертикальных линиях, которые лежат в площади живого сечения на так называемых в е р т и к а л я х. Эту зависимость наглядно можно изобразить графически при помощи построения кривой распределения скоростей по вертикали, так называемого

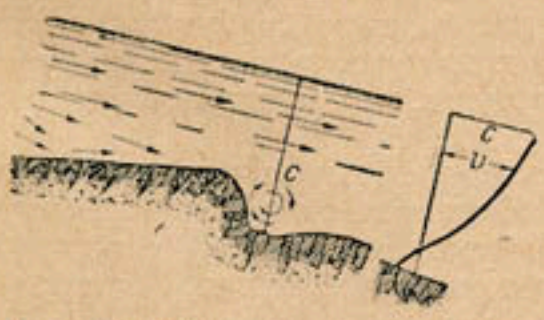


Фиг. 84. Графики скоростей.

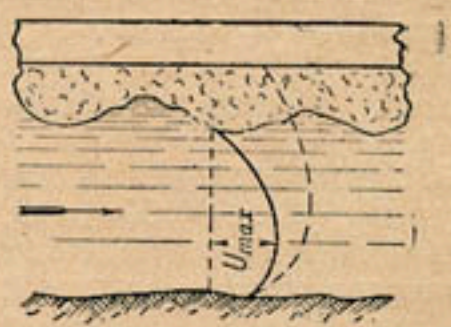


Фиг. 85. График скоростей в случае резкого поднятия дна.

г р а ф и к а с к о р о с т е й н а в е р т и к а л и или г о д о г р а ф а (фиг. 84); для этого на вертикальной оси откладываются в соответствующем масштабе вниз от поверхности воды те глубины, на которых измерялись скорости течения воды; против каждого значения глубины на горизонтальных осях откладываются, также в масштабе, в виде отрезков измеренные скорости; концы скоростных отрезков соединяются плавной кривой линией; так как конструкция гидрометрических приборов по измерению скоростей не позволяет измерять скорость непо-



Фиг. 86. Отрицательные скорости.



Фиг. 87. График скоростей подо льдом.

средственно у самого дна и поверхности потока, то приходится кривую продолжать до дна и поверхности по экстраполяции.

2. Уравнение кривой скоростей в общем виде имеет такой вид:

$$v = f(h), \tag{28}$$

где h — глубина вертикали.

Вид этой функции зависит от весьма многих факторов: направления и скорости ветра; наличия или отсутствия ледяного покрова; характера стенок и дна русла; от продольного уклона русла; состояния русла выше и ниже живого сечения; возможно также влияние температуры воды, ее состава в отношении взвешенных веществ и давления воздуха.

На фиг. 85 показан тип кривой для случая резкого поднятия дна; кривая имеет перегиб приблизительно на высоте гребня препятствия; ниже его она резко идет на убыль и иногда может у дна иметь даже нулевую скорость.

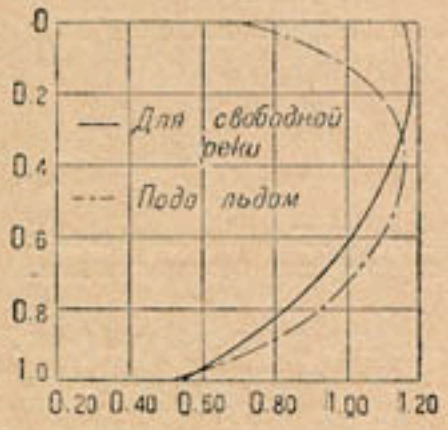
Значительную разницу в распределении скоростей на вертикалях можно ожидать для плесов и перекатов. Перекаты можно уподобить порогам водосливов, через которые переливается вода из бассейнов-плесов. В водосливах, как устанавливает гидравлика, наибольшие скорости лежат ближе ко дну, чем к поверхности воды.

Поэтому на перекатах графики скоростей, вообще говоря, могут иметь максимумы скоростей внизу, а не ближе к поверхности, как на плесах. В плесах же график скоростей тем более изогнут книзу, чем глубже плес по отношению к перекату.

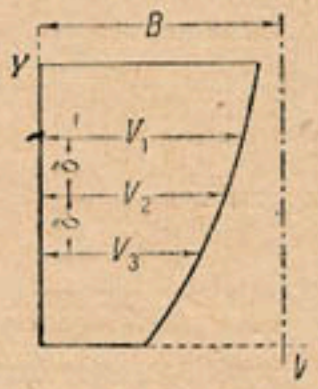
На фиг. 86 дан случай, когда могут иметь место даже обратные скорости (внизу).

Совершенно особый вид имеют графики скоростей при ледяном покрове, причем вид кривой в значительной степени зависит от строения нижней части л. п. При наличии, например, под кристаллическим льдом губчатого льда максимальная скорость может быть расположена на 0,6 или 0,7 глубины (сверху).

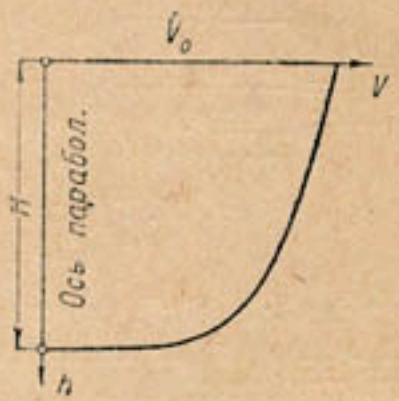
На фиг. 87 дан график скоростей для реки, покрытой льдом с наличием под ним шуги; пунктиром на том же чертеже показано возможное распределение



Фиг. 88. Осредненные графики скоростей по американским данным.



Фиг. 89. График скоростей по Моисеенко.



Фиг. 90. График скоростей по Коллупайло.

скоростей при отсутствии шуги, т. е. при наличии одного гладкого поверхностного льда; максимальная скорость здесь располагается значительно ближе к поверхности.

На фиг. 88 дано сопоставление средних из многочисленных измерений графиков для свободной реки и для реки подо льдом, построенных по американским данным.

3. Многие исследователи пытались дать конкретное аналитическое выражение для функции (28). Так, Хаген в результате своих исследований пришел к выводу, что наилучшее соответствие с действительностью дает парабола с вертикальною осью, вершина которой находится на дне потока при наибольшей скорости на поверхности.

Инж. Моисеенко в результате исследований на р. Чусовой (1911—1921 гг.) предложил уравнение логарифмической кривой такого вида (фиг. 89):

$$y = a + b \lg (B - v), \tag{29}$$

где a, b и B — постоянные для данной кривой коэфициенты, определяемые по трем скоростям, измеренным в трех равноотстоящих по высоте точках; коэфициенты вычисляются легко, и кривая часто дает результаты, очень близкие к действительности.

Рядом авторов (Лаваль, Кристен, Штриклер) давно уже предлагалось для графика скоростей уравнение параболы высших степеней; это предложение вновь выдвинуто и поддерживается в последнее время (1930 г.) проф. С. И. Коллупайло.

Если принять начало координат на поверхности воды в верхней точке вертикали, то уравнение параболы высших степеней с осью, совпадающей с вертикалью и с вершиной на дне потока, можно написать так (фиг. 90):

$$v = a \cdot \sqrt[m]{H - h}, \tag{30}$$

где H — глубина вертикали; a — какой-то определенный параметр; m — степень в границах 3—7 по Лавалю и в границах 2—10 по Коллупайло. Это уравнение дает для донной точки ($H = h$) значение скорости, равное нулю,

$$v_H = 0.$$

Однако при высоких степенях скорость у дна в направлении к поверхности возрастает весьма быстро, что хорошо согласуется с новейшими исследованиями гидравликов (Прандтль, Никурадзе и др.).

Выражение (30), так же как и иные уравнения для графика скоростей, не имеет, однако, практического значения. Во всех этих уравнениях для возможности их использования требуется определять в каждом частном случае не менее чем два параметра; эти определения можно выполнять лишь на основе нескольких действительных измерений скоростей на той или иной конкретной вертикали.

Таким образом необходимость действительных измерений остается неустраненной; к тому же, как будет показано далее (§ 58), имеется ряд простых эмпирических зависимостей, позволяющих вычислять средние скорости для вертикали весьма просто и достаточно точно всего лишь по нескольким измерениям.

С точки зрения теоретической попытки, подобные вышеприведенным, — найти обобщающее уравнение для графика скоростей, также вряд ли можно признать плодотворными. Эти попытки имеют в виду или одну какую-либо группу однородных условий, с которыми имел дело производящий исследование автор, или обычные «нормальные» условия. Между тем, как это было показано в начале этого параграфа, вид графика скоростей зависит от целого ряда факторов, влияющих на скорости течения в потоке. Поэтому в зависимости от различных условий могут быть близки к истине любые из всех перечисленных выше уравнений графика скоростей и в виде парабол высших степеней, и в виде логарифмики, повидимому, в иных видах. В связи с этим об общем законе изменения скоростей на вертикали говорить вряд ли целесообразно.

§ 58. Вычисление средней скорости на вертикали

Средняя скорость на вертикали равняется частному от деления площади $ABDC$ (фиг. 91) (ограниченной горизонтом воды, данной вертикалью, дном и линией графика скоростей) на высоту (глубину) вертикали H:

$$v_m = \frac{\text{пл. } ABDC}{H}.$$

Площадь $ABDC$ иначе называют площадью скоростей (или скоростной площадью) на вертикали. Так как пл. $ABDC = \int_0^H v \cdot dh = \int_0^H f(h)\, dh$, то

$$v_m = \frac{1}{H}\int_0^H v \cdot dh. \qquad (31)$$

Иначе средняя скорость на вертикали равна основанию прямоугольника $AEFC$ (на фиг. 91), площадь которого равна площади скоростей на вертикали ($ABDC$ на фиг. 91).

Распространенные способы вычисления средней скорости на вертикали можно подразделить на такие группы:

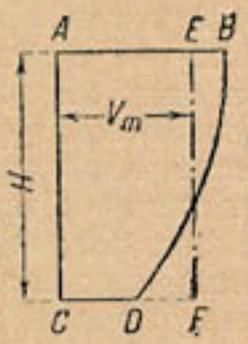
I. Связанные с предварительным построением графика скоростей:
   1) графомеханический,
   2) графоаналитический,
   3) метод пяти точек (по Чебышеву).

II. Аналитические методы, без вычерчивания графика скоростей:
   1) по наблюдениям в пяти точках,
   2) по наблюдениям в трех точках,
   3) по наблюдениям в двух точках,
   4) по наблюдениям в одной точке.

Методы 2, 3 и 4 гр. II носят общее название — у п р о щ е н н ы х методов.

Для применения способов группы первой следует прежде всего по данным выполненных измерений построить график скоростей на вертикали; построение должно быть выполнено на миллиметровой бумаге. Стандартным числом точек, установленным практикой, нужным для уверенного построения графика скоростей, является 5 следующих точек: 1) у поверхности; 2) на 0,2 глубины от поверхности воды, или, сокращенно, на $0{,}2H$; 3) на $0{,}6H$; 4) на $0{,}8H$ и 5) у дна. Вследствие того что конструкция большинства измерительных приборов (вертушек) не позволяет измерить скорости ни на самой поверхности воды, ни у самого дна, кривую скоростей приходится экстраполировать обычно на относительно весьма малые отрезки — вверх и вниз.

За нормальные масштабы для графиков скоростей удобно принимать масштабы, кратные 1, 2, 5, 10 и т. д. и притом дающие площадь скоростей не более 50 $см^2$; удобные соотношения приведены в табличке ниже.



Фиг. 91. Средняя скорость на вертикали.

ТАБЛИЦА 14

Для глубин		Для скоростей	
при максимальной глубине реки на створе в *м*	масштаб следует брать в 1 *см*	при максимальной измеренной скорости в *м/сек*	масштаб следует брать в 1 *см*
До 2	0,2 *м*	До 0,5	0,1
„ 10	1,0 „	„ 1,0	0,2
„ 20	2,0 „	„ 2,0	0,5

Способы группы второй основаны на установленных весьма многочисленными исследованиями эмпирических соотношениях между средней скоростью на вертикали и измеренными скоростями в отдельных точках, преимущественно из числа указанных выше основных пяти точек вертикали.

Способы первой группы следует предпочесть способам группы второй, так как получаемые при этих способах графики скоростей облегчают контроль выполненных измерений.

Группа I. 1. В г р а ф о м е х а н и ч е с к о м способе скоростная площадь планиметрируется в соответствующем масштабе и делится на глубину вертикали. Этот метод помимо наличия планиметра требует большой тщательности в работе и достаточно опытного вычислителя; в связи с этим метод этот не имеет сколько-нибудь широкого распространения.

2. Г р а ф о а н а л и т и ч е с к и й с п о с о б является наиболее целесообразным как по своей простоте, так и по получаемой точности результатов. При его применении можно итти такими путями:

а) Разделить площадь, образуемую графиком скоростей с вертикальной осью и граничными верхней и нижней линиями, на равные п о в ы с о т е площадки, желательно не менее 10; средняя скорость определится как среднее арифметическое из средних абсцисс указанных выше площадок.

б) Разделить ту же площадь, начиная от линии поверхности воды, на ряд равных по высоте площадок, не заботясь о том, чтобы и последняя (нижняя) площадка имела высоту, равную выбранной для вышележащих; средняя скорость тогда определится как среднее арифметическое из средних абсцисс всех площадок, если и последняя площадка будет иметь высоту, равную высотам остальных; в противном случае среднюю абсциссу (скорость) нижней площадки v_n умножают на отношение ее высоты к высоте, принятой для каждой из остальных площадок, и результат прибавляют к сумме средних абсцисс остальных площадок; средняя скорость получится как результат деления этой последней суммы на число

всех площадок; аналитически этот последний процесс можно выразить следующим образом:

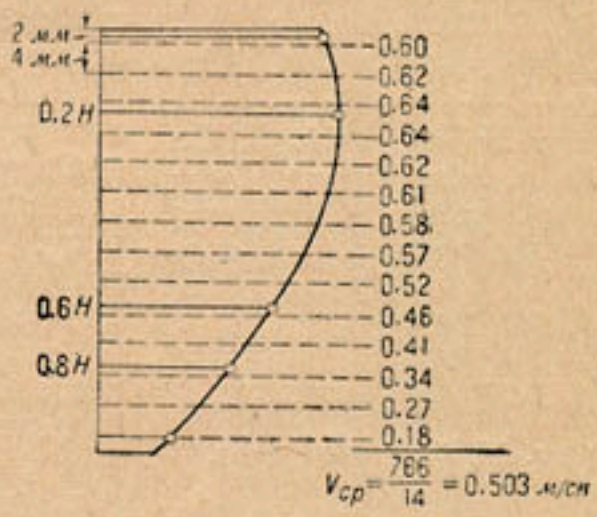
$$v_m = \frac{\sum v_i + v_n \cdot \frac{h_n}{h_i}}{n + \frac{h_n}{h_i}}, \qquad (32)$$

где n — число всех площадок с одинаковой высотой h (без последней площадки); v_i — средние абсциссы каждой из этих площадок; h_n — высота последней, нижней, площадки; v_n — средняя абсцисса нижней площадки.

Удобно применять стандартный порядок подсчета, рекомендуемый инструкцией ГГИ, состоящий в следующем:

Расчетные абсциссы берутся на таких расстояниях от горизонта воды: первая на 2 *мм*, а все последующие — через 4 *мм*, т. е. на 2, 6, 10, 14, 18 и т. д. *мм*, иначе говоря, берутся абсциссы, отвечающие высотам прямоугольников с основанием, равным 4 *мм*.

Последняя (ближайшая ко дну) абсцисса в том случае, если линия дна не совпадает с приведенной выше разбивкой абсцисс, берется на середине последнего неполного интервала (равного 1, 2 или 3 *мм*). Указанные значения абсцисс выписываются на чертеже рядом с графиком скоростей (фиг. 92).



Фиг. 92. Графоаналитический способ вычисления средней скорости.

Вычисление средней скорости выполняется по формуле:

$$v_m = \frac{\sum v_i + \frac{m-2}{4} v_n}{n + \frac{m-2}{4}}, \qquad (33)$$

где v_n — скорость на середине последнего неполного интервала; v_i — скорости всех остальных взятых абсцисс; n — число полных интервалов; m — число миллиметров, отвечающих промежутку между последним полным интервалом и линией дна.

Коэфициент $\frac{m-2}{4}$ получен следующим образом: ниже последней абсциссы, отвечающей взятой величине интервала в 4 *мм*, должно быть еще 2 *мм* по шкале ординат для того, чтобы эта последняя абсцисса отвечала середине последнего прямоугольника в выполненной разбивке скоростной площади; выражение $\frac{m-2}{4}$ в таком случае дает нуль. Если ниже последней абсциссы имеется отрезок в 1 *мм*, то из полученной последней площадки надо вычесть четверть площадки; если же ниже последней абсциссы получено 3 *мм*, то нужно прибавить четверть площадки прямоугольника с принятым основанием в 4 *мм*.

Описанный способ весьма удобен; он позволяет использовать для указанных простых вычислений горизонтальное графление той клетчатки, на которой нанесен данный график скоростей, не затрудняясь разделением в с е й высоты графика на некоторое число совершенно равных по высоте площадок, как это требуется в способе, указанном в п. «а».

в) Наконец, разбив скоростную площадь горизонтальными линиями на ряд частей, можно принять приближенно полученные площадки за трапеции и вычислить скоростную площадь как сумму этих площадок. Если разделить высоту скоростной площади на n равных частей (например на 10) и обозначить каждую через ΔH, то средняя скорость найдется так:

$$v_m = \frac{1}{H} \cdot \Delta H \left(\frac{v_0}{2} + v_1 + v_2 + \ldots + v_{n-1} + \frac{v_n}{2} \right), \qquad (34)$$

где v_0, v_1, v_2..., v_n —величины горизонтальных сторон полученных трапеций.

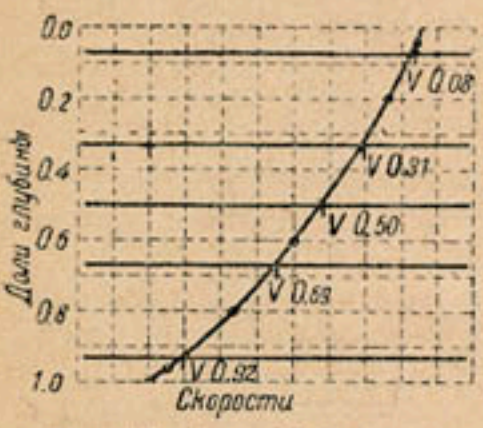
Если величину ΔH назначить отвечающей какому-нибудь круглому числу (например 0,1; 0,2 *м*), то нижняя трапеция, вообще говоря, может получиться с высотой $\Delta H' < \Delta H$; в этом случае будем иметь

$$v_m = \frac{1}{H} \cdot \Delta H \left(\frac{v_0}{2} + v_1 + v_2 + \ldots + v_{n-2} + \frac{v_{n-1}}{2} \right) + \frac{v_{n-1} + v_n}{2} \Delta H'. \qquad (35)$$

Способ вычислений по формулам трапеций требует больше времени, чем описанные выше способы (а) и (б), почему не может быть рекомендован.

3. Метод пяти точек по Чебышеву. Имея построенный график скоростей на вертикали, можно найти среднюю скорость по формуле Чебышева:

$$v_m = \frac{v_{0,03H} + v_{0,31H} + v_{0,50H} + v_{0,69H} + v_{0,92H}}{5}, \qquad (36)$$



Фиг. 93. Сетка Чебышева.

где индексы при v обозначают глубины скоростей, считая от поверхности воды.

Для упрощения выделения на графике нужных значений скоростей можно применять специальную клетчатку с равномерной шкалой (для ординаты) в долях от глубины, принятой за единицу, на которую нанесены также абсциссы по глубинам, соответствующим индексам в формуле (36) (фиг. 93). После обычного нанесения годографа скоростей подсчет средней скорости производится по взятым с графика скоростям согласно формулы (36). Метод этот уступает в точности графоаналитическому, но имеет преимущество перед последним в отношении простоты подсчетов.

Группа II. 1. Аналитические методы вычисления средней скорости по наблюдениям в пяти точках имеют в виду обычно использование пяти измерений: 1) у поверхности; 2) на $0{,}2H$; 3) $0{,}6H$; 4) $0{,}8H$ (во всех случаях считая от поверхности); 5) у дна. Наиболее употребительны следующие формулы:

1. Формула Симпсона

$$v_m = 0{,}050 v_{пов} + 0{,}347 (v_{0,2H} + v_{0,6H}) + 0{,}173 v_{0,8H} + 0{,}083 v_{дон}. \qquad (37)$$

2. Формула Котеса

$$v_m = 0{,}066 (v_{пов} + v_{дон}) + 0{,}260 (v_{0,2H} + v_{0,8H}) + 0{,}174 (v_{0,4H} + v_{0,6H}). \qquad (38)$$

В этой формуле $v_{0,4H}$ обычно берут по интерполяции между $v_{0,2H}$ и $v_{0,6H}$; лучше применять графическую интерполяцию.

3. Формула приближенная

$$v_m = 0{,}1 (v_{пов} + 3v_{0,2H} + 3v_{0,6H} + 2v_{0,8H} + v_{дон}). \qquad (39)$$

4. Формула Мелентьева

$$v_m = 0{,}049 v_{пов} + 0{,}344 (v_{0,2H} + v_{0,6H}) + 0{,}171 v_{0,8H} + 0{,}082 v_{дон}. \qquad (40)$$

Применению вышеприведенных формул, как отмечалось, следует предпочесть графоаналитический способ, как обеспечивающий наглядность и контроль измерений и как более точный.

2. Сокращенные методы. Эти приближенные методы, имеющие в виду вычисление средней скорости по 1, 2 или 3 скоростям, можно применять только при малом числе измеренных скоростей.

Основной из приближенных формул следует считать двухточечную

$$v_m = \frac{v_{0,2H} + v_{0,8H}}{2}. \qquad (41)$$

Формула эта из всех иных показывает наилучшее соответствие с действительностью. Многочисленные исследователи оценивают ее точность в огромном большинстве случаев в пределах 2—3%. Второе ее важное достоинство —это применимость ее также к измерениям подо льдом.

На следующем месте можно поставить одноточечную формулу

$$v_m = v_{0,6H}. \tag{42}$$

Эта формула может давать ошибки до 6% и даже больше, причем вероятная ошибка увеличивается для створов с большими глубинами и большими скоростями течения.

Формула (42) применима лишь при отсутствии льда; при ледяном покрове применяют иногда формулу

$$v_m = 0{,}85v_{0,5H}. \tag{43}$$

Из трехточечных формул чаще всего применяют такую:

$$v_m = \frac{v_{0,2H} + 2v_{0,6H} + v_{0,8H}}{4}. \tag{44}$$

Эта формула может быть получена как среднее арифметическое из значений v_m по формулам (41) и (42). Так как значение $v_{0,6H}$ из менее точной формулы (42) входит сюда с двойным весом, то формула (44) является менее удачной, чем двухточечная формула (41). Это целиком подтверждается многочисленными поверками формулы (44); ошибки по ней обычно более значительны, чем по формуле (41).

К одноточечному способу можно отнести также эмпирические соотношения, связывающие v_m с поверхностной скоростью $v_{пов}$; эти соотношения обычно имеют в виду определение такого переходного коэфициента k, помножением которого на $v_{пов}$ можно было бы получить значение v_m:

$$v_m = k \cdot v_{пов}. \tag{45}$$

Величина коэфициента k зависит не только от общего вида графика скоростей, но в весьма значительной степени от вида верхней части; на величину коэфициента k влияют глубина вертикали, величины скоростей течения, продольный уклон потока, шероховатость русла, ширина русла, положение вертикали, а также такой случайный фактор, как ветер. Отсюда понятна значительная изменчивость этого коэфициента.

По данным 1 535 измерений американских исследователей Гровера и Хойта k колеблется в пределах 0,78—0,98, а в среднем равен 0,85—0,87 (для неглубоких потоков с каменистым руслом $k = 0{,}84$).

По данным Гостинопольской станции на р. Волхове (1 076 графиков скоростей) в среднем $k = 0{,}845$ при средних колебаниях для отдельных вертикалей в пределах от 0,783 до 0,880.

Нижеприводимые исследователи дают для k такие значения: Вагнер (100 кривых для Рейна, Дуная, Эльбы и др.) — $k = 0{,}838$ при пределах 0,64—0,97; Брюнинг (нижний Рейн) — $k = 0{,}915$; Гаген — $k = 0{,}86$; Риттер — $k = 0{,}85$.

Ряд исследователей дает для k выражения, ставящие этот коэфициент в зависимость или от $v_{пов}$ или от глубины H и т. д.

Так, например, по Гагену

$$k = \frac{1 + 0{,}2674\sqrt{H}}{1 + 0{,}4011\sqrt{H}}. \tag{46}$$

По Прони

$$k = \frac{v_{пов} + 2{,}372}{v_{пов} + 3{,}153}. \tag{47}$$

Баумгартен полагает, что формула Прони годна лишь для скоростей, меньших 1,5 *м/сек*; для более значительных скоростей он дает

$$k = 0{,}8\,\frac{v_{пов} + 2{,}372}{v_{пов} + 3{,}153}\,. \qquad (48)$$

Вышеприведенные формулы (37), (41), (42) и (44) отвечают расположению измеренных скоростей на вертикали, принятому в большинстве республик нашего Союза. Эти формулы являются, таким образом, наиболее употребительными.

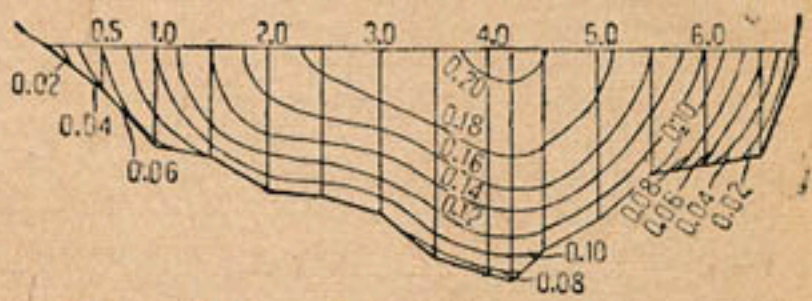
Отметим,что для придонной скорости по Дюбуа имеет место следующая зависимость:

$$v_{дон} = 2 \cdot v_{ср} - v_{пов}. \qquad (49$$

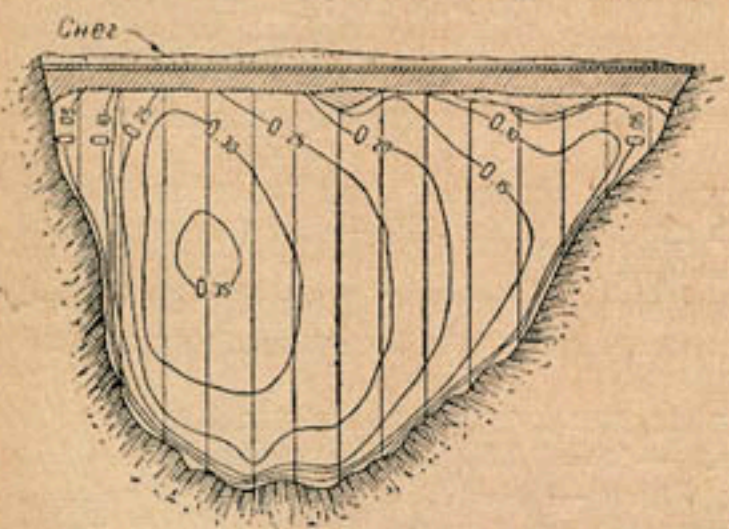
§ 59. Эпюры скоростей. Изотахи

Подобно графикам скоростей, показывающим распределение скоростей в живом сечении по глубине на вертикалях, можно изобразить графически и распределение скоростей в одной горизонтальной плоскости живого сечения; такие графики носят название э п ю р с к о р о с т е й. Для построения их горизонтальные расстояния от одного берега до другого, взятые в плоскости живого сечения, откладываются на горизонтальной оси (фиг. 94), а скорости в соответствующих точках проводятся в виде вертикальных отрезков вверх (или вниз) от указанной горизонтальной оси; концы отрезков соединяются плавной кривой, которую продолжают до точек A и B, лежащих у берегов реки; полученная кривая и является эпюрой скоростей. В общем эпюры скоростей представляют собой кривые, близкие к параболическим кривым с максимумом близко к середине реки; нередко их очертание следует очертанию дна реки. Вид эпюр скоростей меняется для разных глубин данного живого сечения, а также для разных сечений; так, на закруглениях плесов максимумы скоростей должны лежать где-то между вогнутым берегом и серединой реки. Иначе говоря, $v = f(b)$, где b — координаты ширины реки. Таким образом скорости в отдельных точках живого сечения зависят от положения этих точек по ширине реки b и по высоте h, т. е.

Фиг. 94. Эпюра скоростей.



Фиг. 95. Изотахи для открытого русла.



Фиг. 96. Изотахи подо льдом.

$$v = f(h,\ b). \qquad (50)$$

Общая картина распределения скоростей во всей плоскости живого сечения реки наглядно изображается при помощи линии равных скоростей — и з о т а х.

Можно провести аналогию между этими линиями и горизонталями, служащими для изображения рельефа земной поверхности. Точное проведение изотах основывается на предварительном построении кривых распределения скоростей по вертикалям.

Затруднения при проведении изотах иногда возникают в тех местах живого сечения, которые в изотахах изображаются подобно вершинам и седловинам земной поверхности; в этом случае приходится сообразовываться с общим характером распределения скоростей в живом сечении.

На фиг. 95 дана в виде примера схема распределения изотах в открытом русле реки; как видно, максимальные скорости лежат близко к середине и поверхности живого сечения.

Надписи при изотахах соответствуют имеющим место на них скоростям.

Иное распределение имеют изотахи в русле, покрытом льдом, как это видно из примерной схемы фиг. 96. Здесь максимум скоростей лежит обычно значительно ниже поверхности воды, ибо поверхность льда столь же, или даже более, чем поверхность дна, замедляет скорости течения вследствие трения частиц воды об лед.

§ 60. Приемы и приборы для измерения скоростей

Существующие приемы измерения скоростей можно разбить на две главных группы:

1) приемы, позволяющие определить среднюю скорость в данной точке живого сечения;

2) приемы, определяющие среднюю скорость данной струи на том или ином ее протяжении или среднюю результативную скорость всего живого сечения.

К первой группе относятся измерения, основанные на употреблении таких гидрометрических приборов:

1) гидрометрические вертушки — приборы, имеющие вращающиеся лопасти, по скорости вращения коих за известный промежуток времени можно определить среднюю скорость в той точке, где вертушка установлена;

2) динамометры, из коих главнейшими являются гидрометрические трубки; эти приборы дают значение скоростей на основании измерения величин, связанных со скоростным напором в точке измерений;

3) батометры — дающие значение скоростей по скорости наполнения водой данного объема прибора при условии поступления воды в батометры через отверстие подводящей трубки определенного диаметра.

Все приборы первой группы требуют предварительной «тарировки», т. е. опытного установления зависимости между скоростями течения и тем или иным показанием данного прибора. Таким образом приборы этой группы измеряют скорости не непосредственно, а дают те или иные показания, по которым скорости течения могут быть вычислены на основании данных тарировки прибора.

Ко второй группе измерений скоростей относятся измерения при помощи таких приемов:

1. При помощи поплавков, которые можно разделить на такие типы:

а) поплавки, определяющие поверхностную скорость, — поплавки поверхностные;

б) поплавки, определяющие скорость некоторой струи потока, — поплавки глубинные;

в) поплавки, определяющие среднюю скорость на вертикалях, — гидрометрические шесты и поплавки-интеграторы.

Всеми этими приборами скорости течения измеряются непосредственно; поплавки передвигаются вместе с водой, и скорость течения определяется измерением длины пройденного пути L и соответствующего промежутка времени T:

$$v = \frac{L}{T}.$$

2. Особо можно поставить группу методов химических и электрических измерений путем впуска в поток химических примесей или электролитов и последующего исследования соответствующих проб, взятых ниже места впуска примесей. Этими способами может быть измерена сразу вся средняя результативная скорость течения во всем живом сечении.

Самыми простыми приборами, и вместе с тем наименее точными, является большинство приборов второй группы: поверхностные и глубинные поплавки.

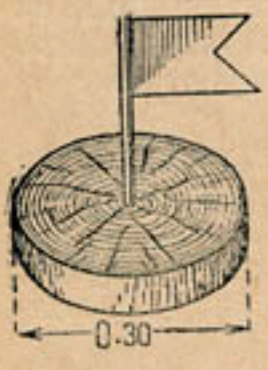
Из приборов первой группы наиболее точны и наиболее распространены вертушки. Однако следует иметь в виду следующее: 1) каждый из приборов для получения надлежащих результатов требует прежде всего надлежащего применения; 2) в различных условиях может быть рационально или даже единственно возможно применение того или иного определенного типа прибора; 3) могут иметь место условия, при которых приборы, считающиеся наиболее точными, дают более плохие результаты, чем результаты от применения иных, вообще говоря, менее точных приборов.

ГЛАВА XI

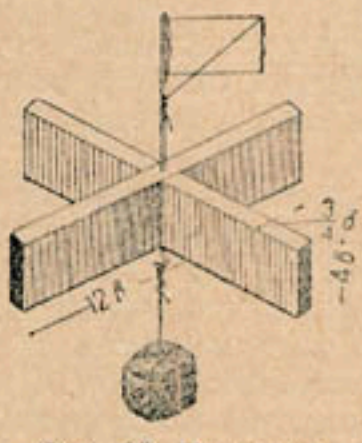
ПОПЛАВКИ

§ 61. Поверхностные поплавки

Поверхностные поплавки наиболее просто изготовляются из дерева путем отпиливания от бревна диаметром в 10—30 *см* кружков в 4—6 *см* толщины; для лучшей видимости удобно снабжать такие поплавки флажками, лучше всего белого цвета (фиг. 97). Поверхностными поплавками также могут служить бутылки, наполненные водой и закупоренные пробкой, с цветной тряпочкой, облегчающей видимость поплавка; льдины, плывущие по реке, и т. п.



Фиг. 97. Поплавок малый.



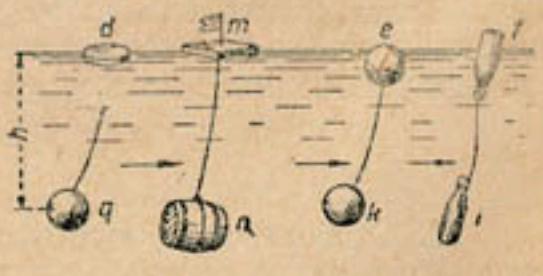
Фиг. 98. Поплавок для больших рек.

Для больших рек с малым уклоном, где скорости в поверхностном слое изменяются очень медленно, удобно применять тип, показанный на фиг. 98, изготовляемый из двух накрест врубленных досок с подвешенным внизу грузом-камнем.

Следует иметь в виду, что поверхностные поплавки разной формы и при разной степени погружения будут передвигаться при одинаковых условиях течения с разной скоростью; правда, эта разница практически незначительна. Все же при отдельных работах для однородности результатов следует применять поверхностные поплавки одного какого-либо типа. Так как главной помехой для производства поплавочных измерений является ветер, то всегда поплавки должны выступать из воды только весьма незначительно — так, чтобы они были едва заметны.

§ 62. Глубинные поплавки

Глубинные поплавки состоят из двух частей: 1) поверхностного поплавка, который служит указателем глубинного поплавка, и 2) более тяжелого тела — собственно глубинного поплавка, связанного с поверхностным поплавком соединительным шнуром или цепочкой (фиг. 99). При таком устройстве, если объем погруженной части поверхностного поплавка намного меньше, чем объем глубинного поплавка (*d* и *m*, фиг. 99), можно пренебрегать давлением струй на поверхностный поплавок-указатель и на соединительный шнур и принимать, что скорость движения всей системы будет равна скорости на той глубине, на которую погружен собственно глубинный поплавок; эта глубина принимается равной длине соединительной цепочки или шнура.



Фиг. 99. Глубинные поплавки.

Если поплавок-указатель и глубинный поплавок приблизительно равны по объему и возможно близки по весу, например, два одинаковых металлических шара или две закупоренных бутылки (фиг. 99, *е* и *f*), то результат измерения рассматривается как некоторая равнодействующая движения этих обоих поплавков. Такие поплавки называют тогда д в о й н ы м и. Для определения таким двойным поплавком скорости v_k на глубине погружения глубинного поплавка измерение производится дважды: один раз выпускаются оба поплавка, как двойной глубинный, и измеряется некоторая результирующая скорость v_2; во второй раз пускается один только поверхностный поплавок, скорость которого пусть будет v_n. Если считать, что v_2 есть средняя арифметическая из скоростей обоих поплавков — v_n и v_k, то v_k определится из следующего:

$$v_2 = \frac{v_n + v_k}{2},$$

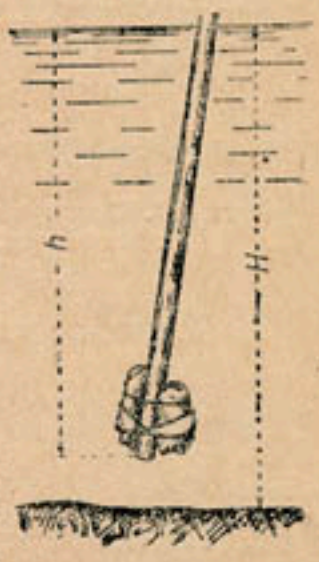
откуда

$$v_k = 2v_2 - v_n. \qquad (51)$$

Недостатком этих поплавков является имеющая место неопределенность взаимодействия глубинного и поверхностного поплавков.

§ 63. Гидрометрический шест

Более точные результаты, чем глубинные и двойные поплавки, дают гидрометрические шесты или жезлы, служащие для измерения средней скорости по всей вертикали. Они изготовляются из дерева — деревянных шестов, диаметром в 3—5—8 *см*, с загружением нижнего конца путем укрепления там камней, мешка с крупным щебнем и т. п. (фиг. 100); применяют также полые металлические трубки, свинчиваемые из отдельных колен, причем нижняя трубка загружается дробью, песком или водой.



Фиг. 100. Гидрометрический шест.

Колена делаются различной длины для того, чтобы было возможно подобрать длину шеста сообразно с глубиной исследуемого профиля.

Верхнее звено закрывается колпаком, окрашенным в белый или красный цвет для облегчения видимости. Подобного рода шесты (из луженого железа с диаметром в 10—20 *см*) применялись, например, в 1906—1909 гг. при работах на р. Зее; колена длиной в 0,75 *м* могли наращиваться до 6 *м*.

Длина гидрометрического шеста должна возможно ближе соответствовать средней глубине того профиля, измерение скорости коего предполагается производить.

Пущенный в воду шест плывет с некоторым наклоном вперед, что объясняется неравномерностью давления воды на шест в связи с более значительными скоростями у поверхности потока.

Наблюдения производятся по верхнему концу шеста, выступающему из воды.

Если шест погружен в воду почти до дна реки, то скорость его движения принимается за среднюю скорость на вертикали; при этом в среднем глубина погружения шеста h (фиг. 100) должна быть не менее 0,94 всей глубины H. При меньшей глубине погружения шеста можно ввести поправку в результат по формуле Френсиса:

$$K = 1{,}00 - 0{,}116\left(\sqrt{\frac{H-h}{H}} - 0{,}1\right). \qquad (52)$$

Таким образом действительная средняя скорость вертикали v_m будет равна

$$v_m = Kv_{набл}, \qquad (53)$$

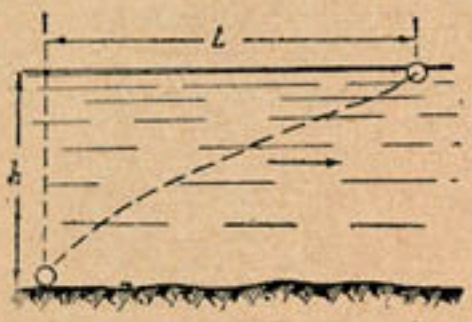
где $v_{набл}$ — наблюденная скорость перемещения гидрометрического шеста.

§ 64. Поплавки-интеграторы

Поплавки-интеграторы дают наиболее точные результаты по сравнению со всеми остальными поплавками.

Идея поплавков-интеграторов основана на следующем:

Если какому-либо телу предоставить тонуть или всплывать от дна до поверхности воды, то скорость его вертикального перемещения можно принять для обычных условий постоянной, и тело это, пройдя постепенно слои воды с различными скоростями, будет снесено на величину l, зависящую от всей продолжительности всплывания t и от величины средней скорости по вертикали v_m.



Фиг. 101. Схема поплавка-интегратора.

Пусть скорость вертикального передвижения тела будет a; продолжительность всего всплывания тела t сек.; в каждом слое воды высотой dh тело пробудет время $dt = \frac{dh}{a}$; при средней скорости этого слоя, равной v, поплавок будет снесен вниз по течению на горизонтальное расстояние $dl = v \cdot dt$.

Величина всего сноса будет равна l (фиг. 101):

$$l = \int_0^t dl = \int_0^t v \cdot dt = \int_0^h \frac{v \cdot dh}{a} = \frac{1}{a} \int_0^h v \cdot dh.$$

Так как средняя скорость на вертикали v_m равна $v_m = \frac{1}{h} \int_0^h v \cdot dh$, то имеем

$$l = \frac{1}{a} \cdot v_m \cdot h.$$

Отсюда

$$v_m = \frac{l \cdot a}{h}.$$

Имея $at = h$, получаем

$$v_m = \frac{l \cdot a}{at} = \frac{l}{t}. \qquad (54)$$

Если для данного тела определить заранее скорости его всплывания в стоячей воде a, проделав ряд опытов для разных глубин h_i, которым будут соответствовать разные продолжительности всплывания t_i, то можно найти ряд значений вида $a_i = \frac{h_i}{t_i}$.

Отсюда можно определить для разных глубин стоячей воды нормальные продолжительности всплывания t_i, не зависящие от скоростей течения в потоке

$$t_i = \frac{h_i}{a_i}, \qquad (55)$$

Далее, удобно составить соответствующие таблицы (или графики), дающие сразу нормальное значение t в зависимости от глубины потока h_i:

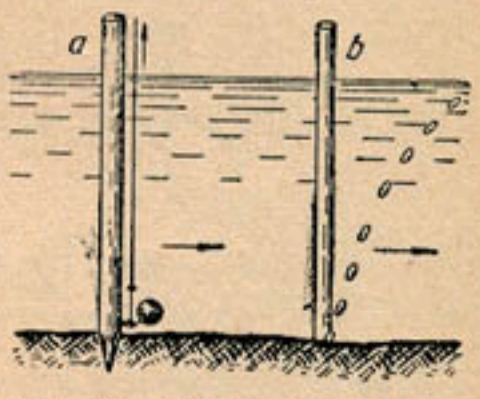
$h_i =$	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5
$t_i =$	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5

Тогда во время работы среднюю скорость на вертикали возможно вычислять без определения времени по одному расстоянию l, подставляя в вышеприведенную формулу: $v_m = \frac{l}{t}$ значения t, взятые для данного значения h из составленной, по указанному выше, таблицы.

На практике конструкция поплавка-интегратора осуществляется различными способами. Всплывающий поплавок можно получить, прикрепляя деревянный шарик ниткой к прочной бечеве, пропущенной через колечко внизу у деревянного шеста, как показано на фиг. 102; если дернуть за бечеву, нитка обрывается, и шарик, освобождаясь, начинает всплывать. Шарик полезно слегка утяжелить для замедления всплывания путем забивки в него гвоздиков или включения в него свинца; чем медленнее всплывание, тем точность измерения будет больше. Для измерения величины l сноса шарика к шесту прикрепляется мерная лента или линейка, которая располагается на поверхности воды вниз по течению.

Вместо деревянного шарика можно применять в качестве поплавка-интегратора подкрашенное масло, которое вдувается через трубку, опущенную до дна (фиг. 102 справа).

Инж. Бернадским было сконструировано такое приспособление: медная полая трубка, герметически свинчиваемая из отдельных колен, с поддоном и отверстием внизу, соединяется резиновой трубкой с особым резервуаром-баллоном; этот последний имеет манометр и насос, при помощи которого давление воздуха внутри баллона можно довести до 2—3 *ат*. Резиновая трубка имеет кран, при помощи которого баллон изолируется от трубки. Открывая кран, можно пускать серию воздушных пузырьков, выходящих на водную поверхность через придонное отверстие трубки. К трубке присоединяют на плаву складную деревянную реечку длиной около 3,00 *м*. Весь прибор смонтирован в ящике размером 1,50 × 0,30 × 0,75.



Фиг. 102. Поплавок-интегратор.

Поплавки-интеграторы удобно применять в условиях малых и заболоченных рек, где измерения вертушками и даже поверхностными поплавками затрудняются наличием водной растительности, мешающей вращению крыльев вертушки или движению поплавков.

Видоизменением поплавка-интегратора для измерения средней поверхностной скорости реки может служить лодка, равномерно переплывающая реку так, что она все время располагается перпендикулярно к берегам; по достижении противоположного берега лодка точно так же возвращается обратно. Среднюю поверхностную скорость дает полная величина сноса, измеряемая по берегу, деленная на время переезда.

ГЛАВА XII

ВЕРТУШКИ

§ 65. Принципы устройства и работы вертушек

Вертушка изобретена в 1790 г. германским техником Вольтманом. Идея вертушки (фиг. 103) основана на следующем: если к горизонтальной оси, могущей вращаться на неподвижных опорах, приделать лопасти, подобные тем, что у ветряных мельниц, или имеющие винтообразную форму, и такую конструкцию поместить в поток лопастями навстречу течению, то, очевидно, давление струй на лопасти заставит их вращаться с некоторой скоростью. Чем больше скорость течения, тем быстрее будет вращаться ось с лопастями; следовательно, по скорости вращения лопастей можно судить о скорости течения.

Чтобы получить величину скорости течения, нужно знать число оборотов лопастей в единицу времени. Для каждой вертушки зависимость между числом оборотов ее лопастей в единицу времени и скоростью течения устанавливается предварительной «тарировкой» вертушки путем серии передвижений вертушки в стоячей воде с разными скоростями (§ 74).

Графические построения или аналитические выражения, которые показывают связь между числом оборотов вертушки в единицу времени и скоростью

течения воды, носят название уравнений вертушки; вид этих уравнений зависит от конструкции вертушки, в частности, от формы ее крыльев.

Обычный вид уравнения вертушки такой:

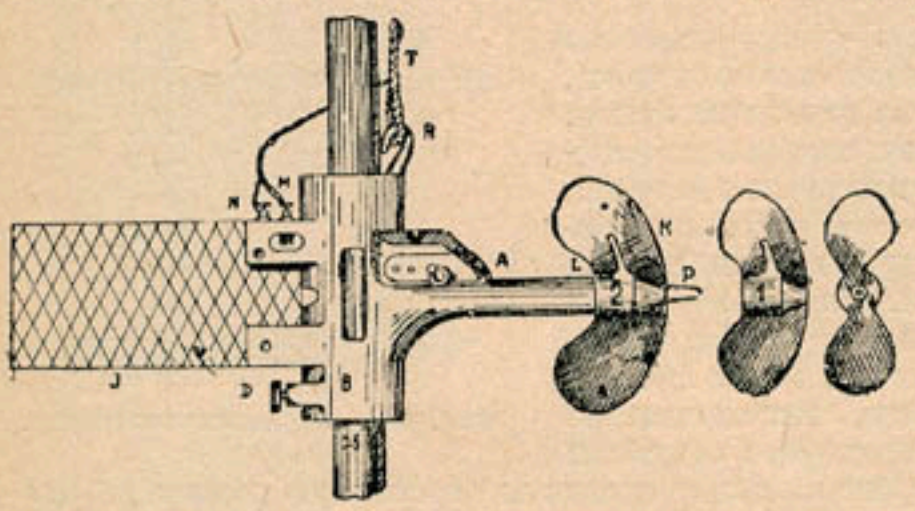
$$v = v_0 + Kn, \qquad (56)$$

где v — скорость в *м/сек*; n — число оборотов лопастей вертушки в 1 сек.; v_0 и K — некоторые постоянные коэфициенты, устанавливаемые тарировкой.

В приведенном уравнении величина K зависит от величины наклона лопастей к оси вертушки, от величины «шага» лопастей.

В самом деле, если бы вертушка работала в идеальных условиях (прямолинейное направление струй, отсутствие всяких сопротивлений внутри вертушки и вне ее), то путь, пройденный частицей воды за время одного оборота лопасти, отвечал бы шагу лопасти K; путь, пройденный частицей воды за одну секунду, при n оборотах в секунду, дает скорость течения; отсюда скорость равна:

$$v = K \cdot n. \qquad (57)$$



Фиг. 103. Штанговая вертушка Отта, тип IVb.

При наличии сопротивлений движению лопастей для приведения их во вращение необходима какая-то скорость v_0, тем большая, чем больше сопротивления.

Таким образом в уравнении (56) величина v_0 показывает ту наименьшую скорость, начиная с которой данный экземпляр вертушки начинает работать; эта величина, таким образом, характеризует чувствительность вертушки.

Уравнение (56) отвечает прямой линии; обычно, однако, для малых скоростей имеет место слабо криволинейная зависимость между v и n, правда, в большинстве случаев могущая быть замененной прямолинейным участком.

Из сказанного видно, что при работе вертушкой должно регистрироваться число оборотов лопастей вертушки, отвечающее тем или иным интервалам времени; отсюда может быть определено число оборотов n в одну секунду, а по величине n — по уравнению тарировки вертушки — скорость течения v.

§ 66. Части вертушек

В общем случае каждая вертушка (фиг. 103) включает в себя следующие части: 1) лопасти или крылья (ротор); 2) ось, к которой прикрепляются лопасти и вместе с которой они вращаются; ось укрепляется на подшипниках, позволяющих ей вращаться с минимальным сопротивлением; 3) тело (или корпус) вертушки с опорами — подшипниками для оси, и со счетным механизмом; 4) хвост; 5) счетный контактный механизм; 6) установочное приспособление.

В отдельных случаях могут иметь место такие дополнительные устройства: 7) устройство для сигнализации момента достижения вертушкой дна потока (донный контакт); 8) устройство для определения направления струй.

1. Лопасти могут иметь разнообразную форму. Они могут быть устроены или в виде четырех наклонно расположенных к плоскости вращения пластинок или могут быть винтового и параболического очертания.

Винтовые лопасти начинают вращаться уже при такой скорости течения, когда один оборот длится 3—4 сек., в то время как плоские лопасти перестают вращаться при двух оборотах в 1 сек. Венгерский инж. Гайош предложил лопасти, очерченные по параболе двойной кривизны. Такого вида лопасти оказались более чувствительными, чем лопасти винтовые. Преимуществом винтовых и пара-

болических лопастей является то, что производящие криволинейных поверхностей всегда нормальны к оси вертушки; если такие лопасти поставить поперек течения, то они вовсе не будут вращаться. Это имеет важное значение в том отношении, что при косом течении, которое не совпадает с осью установленной вертушки, такие лопасти учитывают не действительную скорость, а ее проекцию на ось вертушки. Другим важным преимуществом винтовых лопастей является их более значительная обтекаемость, устраняющая запутывание в них травы, сора и т. п., имеющихся нередко в воде.

Из вышеприведенного выражения (56) видно, что при данной скорости течения лопасти должны вращаться тем быстрее, чем меньше их шаг. Имеющее место на самом деле трение замедляет вращение, и лопасти большого шага при малых скоростях могут совсем не вращаться, почему в таких случаях приходится употреблять лопасти малого шага.

С другой стороны, при больших скоростях лопасти малого шага будут вращаться слишком быстро, что может затруднить отсчеты числа их оборотов. В связи со сказанным некоторые вертушки снабжаются целым набором съемных лопастей разного шага.

Кроме формы лопасти отличаются также и по размеру. Существуют лопасти, имеющие всего лишь 4—5 *см* в диаметре, но есть такие, диаметр коих около 20 *см*. При испытаниях выяснилось, что лопасти более значительного диаметра при прочих равных условиях более чувствительны и вращаются более плавно, чем небольшие лопасти той же формы.

У большинства вертушек лопасти насажены непосредственно на ось, и только у некоторых больших вертушек лопасти прикрепляются к оси спицами («спицевые» лопасти). Предпочтение первому способу соединения лопастей с осью отдают потому, что в этом случае образуется меньше водоворотов, вызываемых неодинаковой скоростью движения различно удаленных от оси точек лопастей.

Лопасти должны изготовляться из легкого, но твердого металла, не допускающего изменения их формы, что может повлечь за собой изменение результатов тарировки. Обычно применяют для изготовления лопастей дюралюминий, бронзу или иные специальные сплавы. В недавнее время выдвинуто предложение изготовлять лопасти из особого рода резины.

Лопасти вышеописанного вида всегда укрепляются на горизонтальной оси.

В некоторых конструкциях вертушек, по преимуществу — американских, движущаяся часть—ротор—устраивается в виде чашеобразных лопастей, насаженных на вертикальную ось (подобно робинсонову кресту в анемометрах — приборах для измерения скорости ветра). Форма таких чашечек может быть различна— в виде полушарий, конусов, параболоидов, числом 4, 5 или 6, расположенных вершинами по окружности, одна за другой, с осью вращения в центре. Принцип действия их основан на том, что вода оказывает более значительное давление на вогнутые поверхности, чем на выпуклые.

Такого рода лопасти с вертикальной осью в силу своего симметричного расположения всегда дают максимальную скорость в точке измерений независимо от направления струй в потоке (а не нормальную составляющую к плоскости живого сечения); поэтому в потоках с косыми струями применение таких вертушек может давать значительно преувеличенные результаты.

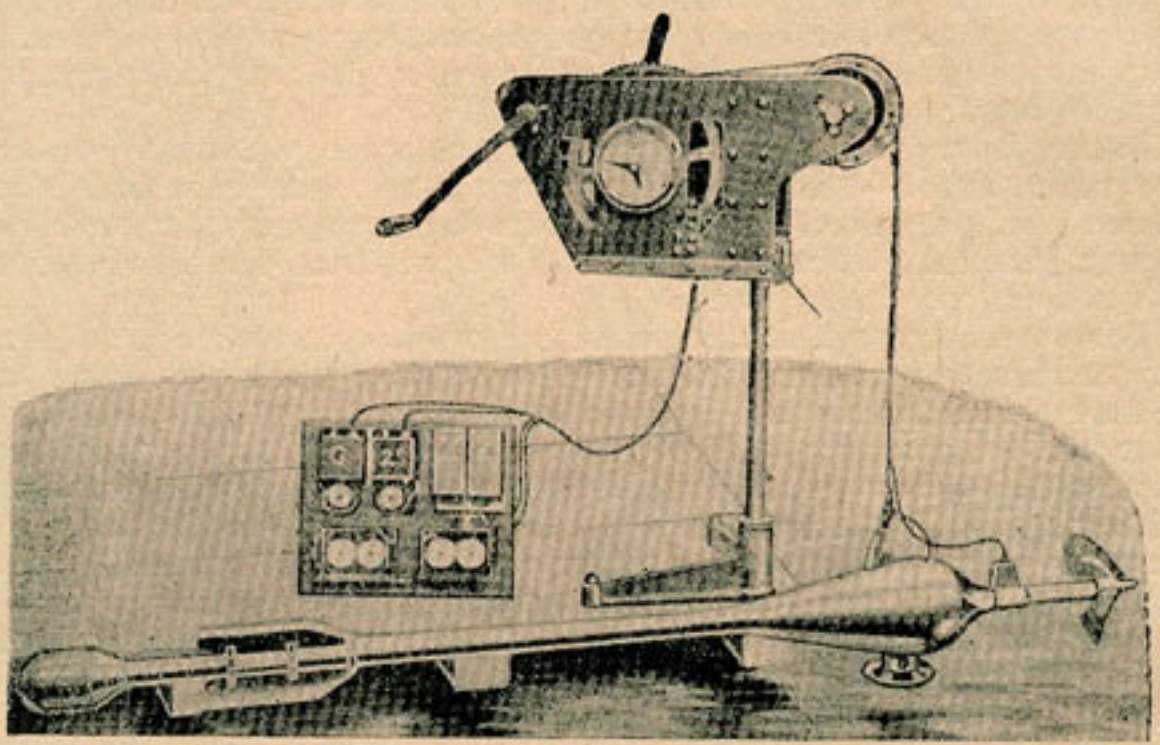
2. Горизонтальная ось вертушки, вращающаяся вместе с лопастями, обычно закрепляется в конце, прилегающем к лопастям, на шариковом подшипнике, а в другом конце — на подпятнике — агатовом или из закаленной стали, входящем в опорное углубление (пяту) в конце оси.

Устройство шариковых подшипников разнообразно. Весьма часто шариковый подшипник образуется из утолщения на оси, которое с передней стороны имеет конусную грань, служащую опорной поверхностью для шариков, размещаемых по кольцевому пространству между осью и телом вертушки. С передней стороны на ось в таком случае навинчивается колпачок-кожух с обратной конусной поверхностью; положение этого колпачка, определяющее степень свободного вращения шариков, закрепляется особой пластинкой, входящей в вырезы на наружной поверхности колпачка, и после выполнения тарировки вертушки не должно

изменяться, так как в противном случае нарушатся имевшие место при тарировке условия вращения оси.

Описанный шариковый подшипник носит название р а с с ы п н о г о, так как шарики не имеют коробки, могущей быть вынутой вместе с шариками. В иных конструкциях вертушек шарики помещаются в съемные кольца. В некоторых вертушках вместо шариковых подшипников применяют подшипники на роликах (вертушка Альбрехта-Килли); эти подшипники удобны тем, что при них устраняется наблюдаемое иногда при шариковых подшипниках изнашивание опорной поверхности, в виде образования выбоины; это изнашивание нарушает тарировку и уменьшает чувствительность вертушки.

В некоторых вертушках шариковые подшипники вовсе отсутствуют и ось с обеих сторон укреплена на подпятниках, в которые входят острия опорных винтов; при этом иногда опорная пята (углубление) делается в опорном винте,



Фиг. 104. Тросовая вертушка Отта, тип VII.

а острием оканчивается ось. При такого рода закреплениях оси вертушки один из опорных винтов обычно делается глухим, а другой (обычно с внутренней стороны) подвижным, чем обеспечивается возможность регулировки закрепления оси; понятно, что положение регулирующего винта ни в коем случае не может быть изменено после выполнения тарировки; нужное положение обычно фиксируется черточками на головке винта и на теле вертушки.

При шариковых подшипниках обычно обращается большое внимание на то, чтобы обеспечить их от попадания в них воды и мути; мутная вода способствует весьма быстрому истиранию трущихся поверхностей, нарушающему тарировку и чувствительность вертушки. Подпятниковые подшипники при их удачной конструкции страдают от мутной воды значительно меньше.

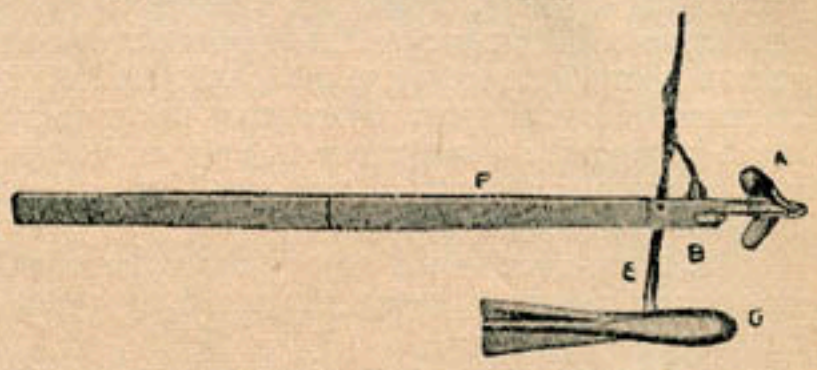
В вертушках с вертикальной осью нижний конус оси опирается обычно на острие съемного шпиля из закаленной стали, а верхний ее конец вращается в свободной втулке.

3. Т е л о и л и к о р п у с в е р т у ш к и всегда имеет форму возможно обтекаемого характера. Тело вертушки служит оболочкой для помещения оси с подшипниками и регистрирующего механизма — контактной камеры; помимо этого тело вертушки имеет устройства для закрепления вертушки на установочном приспособлении, при помощи которого вертушка может быть установлена для измерений в нужной точке живого сечения.

Таким устройством может быть или сквозное отверстие с зажимным винтом для пропуска через него штанги, т. е. мерного металлического шеста, или захват

для подвешивания вертушки на тросе и захват для прикрепления внизу вертушки груза для противодействия уносу ее течением.

Вертушка, приспособленная для применения на штанге, носит название штанговой вертушки (фиг. 103); вертушка, опускаемая в воду на тросе, называется тросовой вертушкой (фиг. 104 и 105). Тело тросовых вертушек часто специально утяжеляют заливкой свинцом, с доведением их веса до 25—50 и даже 100 *кг* (фиг. 104).



Фиг. 105. Тросовая вертушка Отта, тип V.

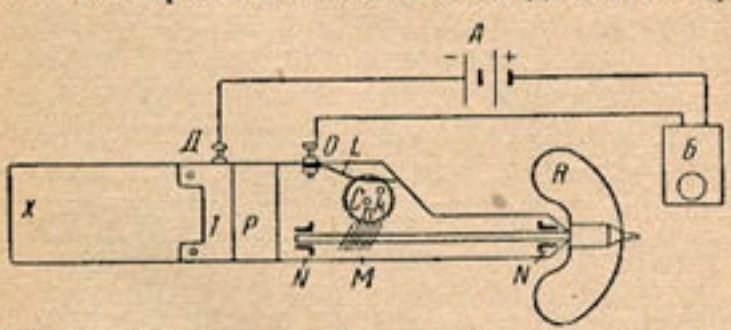
Отметим, что имеется ряд конструкций вертушек, выполненных так, что они могут применяться для работы как на штанге, так и на тросе; такие вертушки носят название универсальных.

4. Хвост вертушки предназначается в тросовых вертушках для установки их по течению и для их уравновешивания. Обычные формы хвостов —в виде поставленной вертикально плоскости, в виде конуса, в виде пересекающихся вертикальной и горизонтальной плоскостей и, наконец, в виде длинного плоского прямоугольника.

В штанговых вертушках хвост служит для уравновешивания тела вертушки, иногда (при свободном вращении вертушки вокруг штанги) для установки вертушки по течению и для облегчения условий обтекания корпуса вертушки. В штанговых вертушках хвост иногда может отсутствовать. Хвосты вертушек почти всегда делаются съемными и закрепляются к телу вертушек особыми винтами.

5. Счетный контактный механизм имеет назначением регистрацию числа оборотов лопастей. Обычно этот механизм помещается в особой, часто изолированной, контактной камере.

Устройство обычного пружинного контакта с звонковой сигнализацией таково (см. схему фиг. 106): при вращении лопастей R, насаженных наглухо на ось NN, бесконечный винт M на этой оси приводит во вращение зубчатую шестеренку C (насаженную на ось n); на этой зубчатой шестеренке имеется штифт k, к которому подведена плоская пружинка L, закрепленная другим своим концом наглухо в винтовом зажиме (клемме) O, изолированном от тела вертушки; каждому одному обороту шестеренки C отвечает одно касание штифта K с пружиной L. Изолированный винт O соединяется проводом с зажимом звонка $Б$; провод от второго зажима звонка присоединен через батарею A к винту D, не изолированному от тела вертушки. При такой схеме каждый контакт штифта K и пружинки L дает сигнал-звонок; промежутки между сигналами-звонками, измеренные по секундомеру, позволяют определять количество оборотов лопастей за соответствующее время и, значит, за одну секунду. Вместо одного штифта K на шестеренке C иногда помещают два или четыре штифта. Если число зубцов на шестеренке 100, а штифтов 4, то сигналы будут иметь место через каждые 25 оборотов, при двух штифтах через 50 оборотов.



Фиг. 106. Схема устройства электрического контактного механизма.

У некоторых типов вертушек штифты делают поворачивающимися и срезанными на половину; повернув штифт срезом к пружинке, можно в таком случае выключить его из работы и тем увеличить интервал между сигналами.

В иных конструкциях шестеренка отсутствует, а вместо этого короткий участок оси делается эксцентричного сечения с таким расчетом, чтобы контакты

с пружинкой осуществлялись бы непосредственно выступом на эксцентричной части оси; в этом случае сигналы имеют место через 1 оборот.

В вертушке Альбрехта-Килли контактное устройство осуществляется вращением от оси вертушки, через бесконечный винт на ней одного изолированного диска около второго; в дисках, сделанных из непроводника, имеется по два медных гнезда-кружка, заподлицо с поверхностью дисков; контакт осуществляется совпадением обеих пар металлических гнезд-кружков. Таким устройством контактов достигнуто совершенно равномерное, и притом незначительное, сопротивление в контактах; благодаря постоянному соприкосновению контактных гнезд-кружков с поверхностью противолежащего диска предотвращается процесс окисления контактов, имеющий место в пружинных контактах, если к последним имеет доступ вода.

В некоторых типах вертушек пружинный контакт монтируется в небольшом углублении в передней части вертушки — около шарикового подшипника.

Кроме электрической сигнализации пружинный (или дисковый) контакт может иметь сигнализацию телефонную (акустическую) или непрерывную автоматическую сигнализацию, записываемую на ленте особого прибора — хронографа (§ 72).

В электромагнитных вертушках фирмы Отта применен электромагнитный контактный механизм (см. дальше § 70). Идея устройства этого механизма такова: на внутренний конец горизонтальной вращающейся оси вертушки насажен массивный подковообразный магнит, подходящий своими концами к тонкой перегородке второй, герметически закрытой, камеры, расположенной на продолжении оси вертушки. В этой второй камере помещена вторая горизонтальная ось; на конце ее, обращенном к перегородке, помещен крестовидный якорь; вращение магнита в первой камере вызывает такое же вращение якоря во второй камере. Ось второй камеры имеет бесконечный винт и такого же типа пружинный контакт, как вышеописанный, обеспечивающий надлежащую сигнализацию. Электромагнитный контактный механизм, как показывает опыт, мало надежен из-за обычных расстройств в действии магнита.

К а м е р а для контактного устройства может быть совершенно изолирована от воды (как, например, в вышерассмотренном случае для электромагнитного контактного механизма) или изолирована негерметически (как это имеет место в большинстве случаев для пружинных контактов).

Имеются конструкции вертушек (Отта, тип. I), у которых изоляция контактного механизма от воды осуществляется заполнением особо сконструированной камеры растительным маслом, исключающим доступ к контактам воды (§ 70). При пружинных контактах, помещенных в камерах, изолированных от воды не герметически, а также при открытых пружинных контактах, имеет место нередко весьма неприятное явление окисления контакта от разложения воды электрическим током на водород и кислород. В жесткой воде происходит также выделение на аноде известковых солей, которые откладываются на частях контактного устройства в виде налета. Указанное вызывает перебои в сигнализации или может даже вовсе прекратить ее вследствие перерыва прохождения тока по цепи сигнализации.

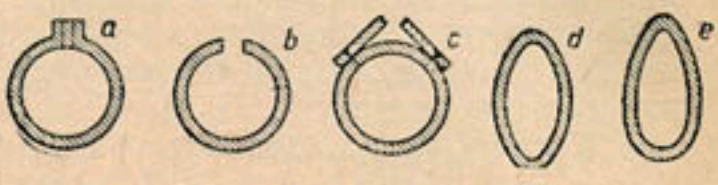
Эти явления могут быть значительно ослаблены и даже совсем устранены применением следующих мероприятий: 1) применением минимальной силы тока (от одного сухого элемента); 2) присоединением положительного полюса батареи к неизолированному зажиму вертушки (тело вертушки), а отрицательного — к изолированному.

6. У с т а н о в о ч н ы м и п р и с п о с о б л е н и я м и служат, как указывалось, штанги или тросы; штанги большей частью делаются из полых металлических труб диаметром в 4—11 *см*; для удобства переноски штанги обычно делаются составными, из отдельных колен, длиной в 1—2 *м*. В сечении штанги могут быть круглые, овальные или яйцеобразные. В круглых штангах, для предотвращения вращения вертушки вокруг штанги, на последней делают направляющий выступ; иногда этот направляющий выступ заменяют продольной щелью

(фиг. 107). Такая штанга упирается в дно реки, и установка вертушки в разных точках вертикали осуществляется путем перемещения вертушки вдоль штанги.

На штангах имеются деления, по которым устанавливается вертушка на желаемой глубине. Внизу штанги снабжаются поддоном, предохраняющим штангу от погружения в дно реки.

Штанги, упираемые в дно, можно назвать упорными штангами. В отличие от них применяются также подвесные штанги, закрепляемые подвижно навесу; при штангах этого типа вертушка закрепляется неподвижно на нижнем конце штанги, и установка вертушки в нужной точке достигается перемещением вверх и вниз самой штанги.



Фиг. 107. Типы сечения штанг.

Тросы применяются обычно специальные, в виде троса-кабеля, включающего одновременно и электрические провода (§ 72); для удобства манипуляций с вертушкой при ее установке применяются лебедки с приспособлениями, позволяющими регулировать скорости подъема и спуска вертушки, а также регистрировать глубины ее установки.

7. Донный контакт имеет назначением обеспечить сигнал о достижении вертушкой дна. Для тросовых вертушек этот сигнал весьма нужен для устранения возможности повреждений вертушек от влечения их по дну. Устройство донного контакта основано на принципе замыкания электрической цепи подвижным рычагом (или стержнем) в нижней части вертушки, от тяжести последней при соприкосновении с дном потока. Верхний конец стержня (или рычага) входит при этом в соприкосновение с изолированной от тела вертушки клеммой. Так как один провод электрической цепи включается обычно в тело вертушки, то для донного контакта необходим лишь один дополнительный провод, выводимый в особый зажим на корпусе вертушки. Донными контактами иногда снабжаются и грузы, подвешиваемые к тросовым вертушкам.

8. Устройства для определения направления струй, параллельно с измерением скоростей течения, будут рассмотрены далее особо (§ 71).

Фиг. 108. Вертлюг.

9. Вертлюг имеет своим назначением облегчить установку тросовой вертушки по направлению струй и предупредить скручивающее влияние троса; обычно состоит из двух захватов и средней вращающейся части (фиг. 108). Верхний захват вертлюга присоединяется к тросу, а нижний может служить для подвешивания груза. В некоторых конструкциях вертлюгов для облегчения трения применяются шариковые подшипники.

§ 67. Опускание вертушек на штанге и на тросе

А. При применении упорных штанг используется двоякий способ перемещения вертушки по штанге: 1) простейший способ — перемещение от руки с закреплением вертушки на нужной глубине при помощи зажимного винта на обойме вертушки; 2) перемещение по штанге при помощи троса. В обоих случаях штанга может быть или круглой без направляющей продольной планки или с продольной планкой или прорезью, или овального, или яйцевидного сечения, в силу чего вертушка не может поворачиваться вокруг оси штанги.

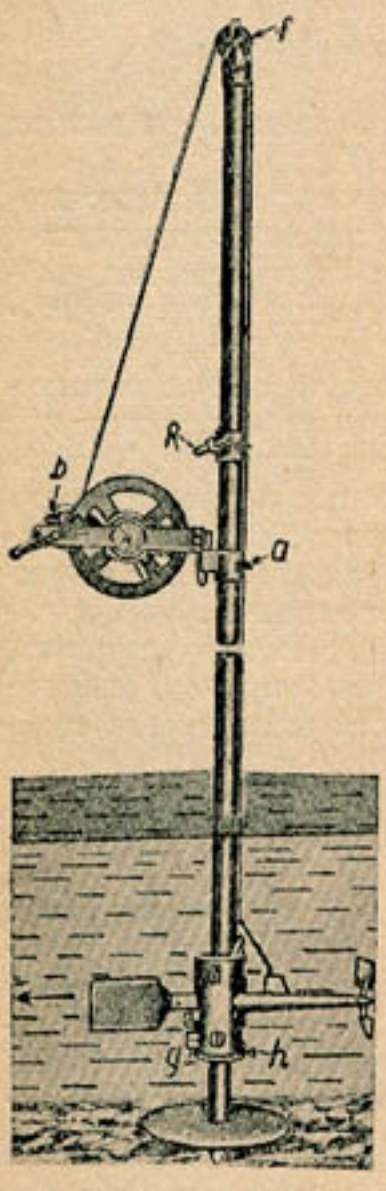
1. При перемещении вертушки по штанге от руки для каждой установки вертушки нужно вынимать штангу из воды, что сильно замедляет работу; поэтому такой способ перемещения вертушки по штанге можно применять при измерениях лишь на небольших реках.

Для придания нужного направления горизонтальной оси вертушки, т. е. чтобы она была перпендикулярна к линии створа, служит визир, закрепляемый при помощи зажимного винта на штанге над поверхностью воды (фиг. 109, *к*); визир имеет форму короткой горизонтальной планки, ось которой устанавливают

перпендикулярно к оси вертушки. Иногда на муфте визира имеется и зажимное отверстие для закрепления троса, поддерживающего вертушку.

2. При перемещении вертушки по штанге помощью троса вертушка должна двигаться по штанге свободно, без заедания; на штанге должны быть направляющие выступы или прорези или она должна быть некруглого сечения для того, чтобы положение вертушки по отношению к створу определялось путем надлежащей установки штанги (по визиру); вертушка должна иметь достаточный вес для опускания вниз.

В этом случае может быть применено двоякое оборудование:



Фиг. 109. Вертушка (Отта-магнитная) на штанге.

а) На верх штанги надевается только один блочек (фиг. 109, *f*), через который и пропускается трос, закрепляемый затем в зажиме визира и отпускаемый (а также выбираемый) от руки; способ этот неудобен ввиду трудности точной установки вертушки на нужной глубине без вынимания штанги из воды.

б) На штангу кроме блочка укрепляется еще лебедка со счетчиком глубин, как это показано на фиг. 109. В этом случае перемещение вертушки в нужные точки по глубине вертикали производится так: после установки штанги вертушка приводится в такое положение, чтобы ось ее была вровень с поверхностью воды; затем стрелки счетчика глубин переводятся на нуль. Тогда при опускании вертушки глубину ее погружения сразу можно читать на циферблате счетчика.

Чтобы измерить полную глубину до дна, вертушку опускают до поддона (отсчет можно делать по сигналу донного контакта в случае наличия такового) и к полученному отсчету прибавляют постоянную высоту (для данной вертушки) от оси до низа вертушки.

3. В качестве особых способов перемещения вертушки по упорной штанге можно отметить способ, применяемый для вертушки Альбрехта-Килли, основанный на действии щитка-погружателя; в этом случае применяется штанга круглого сечения и вертушка устанавливается по течению в результате воздействия последнего на достаточно большую площадь хвоста вертушки.

К задней части вертушки (фиг. 110) привинчивается вертикальная полая трубка длиной около 45 *см*, у конца которой прикреплено особое приспособление — щиток-погружатель, небольшой щиток с загнутым против течения краем; кабель, служащий в то же время поддерживающим вертушку тросом, пропускается в трубку и идет наверх. При больших глубинах для удержания кабеля около штанги имеются особые направляющие кольца, помещаемые через 0,60 — 1,00 *м*.

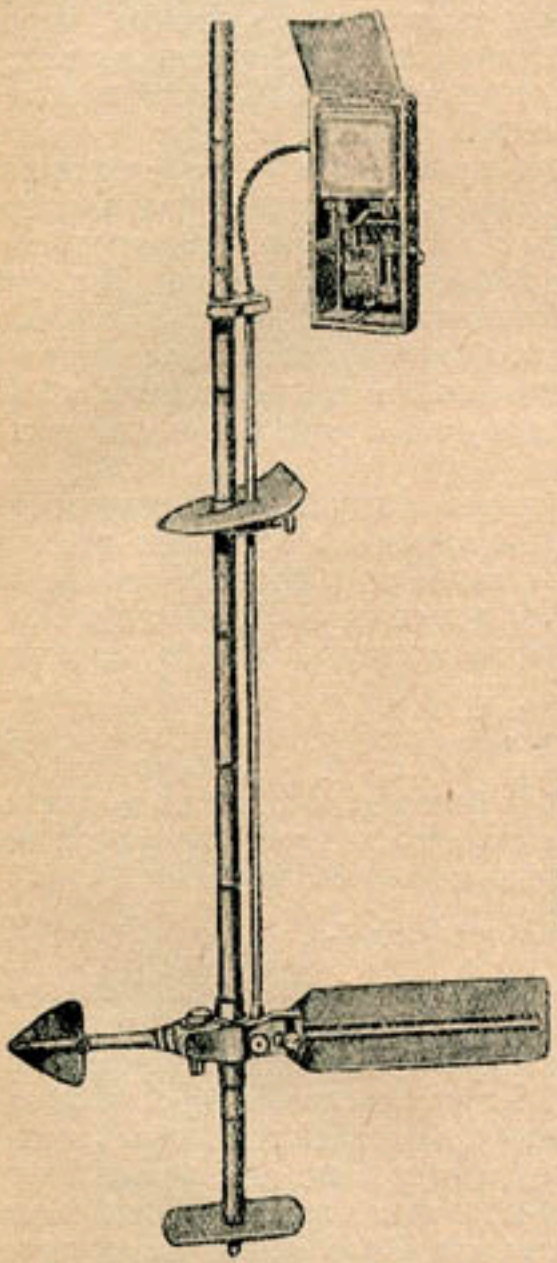
При весьма небольшом весе вертушки щиток-погружатель при сколько-нибудь заметном течении очень хорошо удерживает вертушку на нужной глубине, соответствующей длине натянутого кабеля; этим приспособлением достигается весьма быстрая и легкая установка вертушки на нужных глубинах на вертикалях без вынимания вертушки со штангой из воды, что сильно сокращает время работы.

Б. При применении подвесных штанг последние удерживаются на особых штангодержателях.

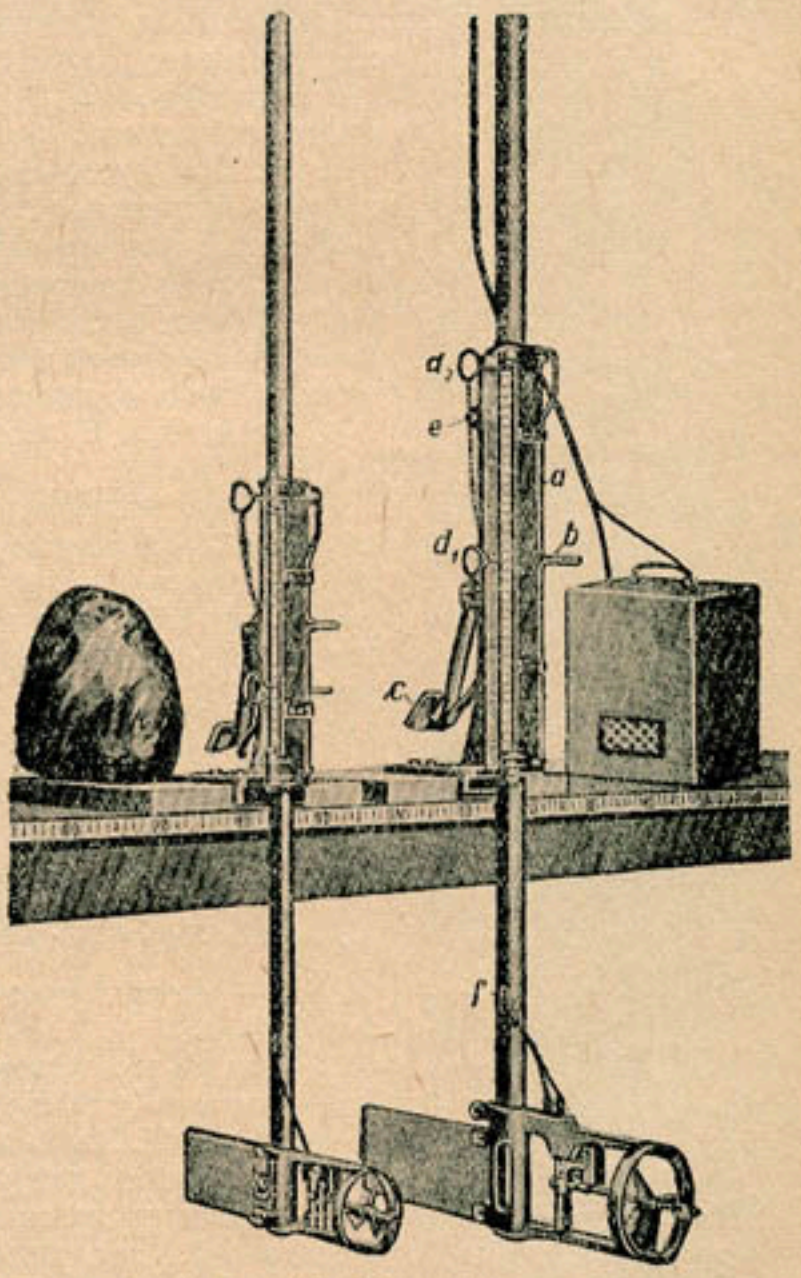
Имеют распространение штангодержатели таких двух типов: 1) держатель с рычажным тормозом и 2) держатель с лебедкой.

1. Штангодержатель первого типа (фирмы Отта) показан на фиг. 111 в двух размерах — меньшем и среднем. Этот держатель состоит из охватывающего штангу продолговатого футляра, крышка которого *a* открывается и закрывается одним поворотом задвижки *b*. В футляре штанга удерживается зажимной пружиной,

которая может быть освобождаема путем нажатия ногой на педаль *c*. По всей длине штанги просверлены отверстия через 1 *см*, снабженные цифрами калибровки, идущей обычно сверху вниз (нуль находится вверху). Этим отверстиям в футляре держателя отвечает продольная щель длиной от 25 до 60 *см*, смотря по размеру держателя; вдоль щели на футляре также нанесены деления и цифры. Эти деления облегчают быстрое и безошибочное передвижение вертушки по высоте; для этого против соответствующего деления держателя, через его щель, вставляется



Фиг. 110. Щиток-погружатель на штанговой вертушке.



Фиг. 111. Штангодержатель.

в отверстие штанги штифт d_2; тогда при подъеме штанги вверх штифт позволит штанге переместиться только до его положения d_2, при котором он упирается в отмеченный нулем конец щели.

Держатель привинчивают к прочной доске, которую полезно еще загрузить большим камнем; для выверки вертикального положения держателя на нем имеется круглый уровень *e*.

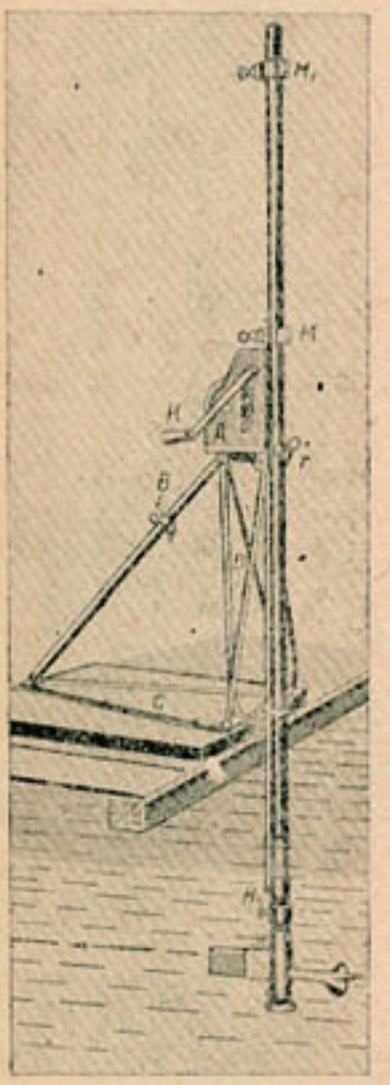
Такого типа штангодержатели выпускает также французская фирма Ришар.

2. Штангодержатель с лебедкой (фирмы Отта) показан на фиг. 112. Он состоит из устойчивой разборной рамы *BCD*, верхняя часть которой *A* снабжена легкой лебедкой. От лебедки идет трос к нижнему концу штанги. Штанга, размеченная через 1 *см*, вставляется в два расположенных одно над другим гнезда держателя, закрываемые защелками *r*, и закрепляется еще по высоте зажимами *M*. При значительном течении и больших глубинах к нижнему концу

штанги, к ушку ее H, присоединяется еще оттяжной трос. Один оборот рукоятки лебедки отвечает перемещению штанги вверх или вниз на 20 *см*.

Такого типа штангодержатель дает возможность работать на глубинах до 5 *м*.

При применении тяжелых и длинных подвесных штанг (до 10 *м*) применяют более сложные устройства. Схема примера такого устройства дана на фиг. 113. Здесь штанга перемещается между одной (или больше) парой роликов при помощи троса, идущего от лебедки через блок к нижнему концу штанги и закрепленному выше вертушки. Несколько боковых оттяжных тросов, пропущенных через соответственно расположенные блоки, удерживают штангу как от изгиба, так и от вибраций. Вся система помещается на мостике судна или парома.



Фиг. 112. Штангодержатель.

В. При применении тросовой вертушки следует учитывать угон вертушки текущей водой, который может варьировать в значительных пределах в зависимости от скорости течения, веса вертушки и груза при ней (если таковой имеется) и от толщины поддерживающего вертушку троса. Само опускание тросовой вертушки обычно осуществляется при помощи стрелы с блоком, специальной лебедки или специальных приспособлений.

1. При явлениях угона вертушки для измерения действительной глубины погружения вертушки необходимо определять угол α отклонения троса от вертикали (см. также § 8). При небольших скоростях и глубинах, принимая линию троса за прямую, можно написать (фиг. 114):

$$x = k \cdot \cos \alpha - N, \tag{58}$$

при больших глубинах и больших скоростях кривизна отклоненного троса не поддается простому учету; поэтому приближенно можно считать:

$$x_1 = k_2 \cdot \cos \alpha - N + z, \tag{59}$$

где k_2 — длина троса; z — неизвестная ошибка на кривизну троса.

2. Для более точного учета глубин при относе вертушки фирма Отта предлагает приспособление, показанное на фиг. 115. Здесь линия, о которой говорилось выше, осуществлена в натуре при помощи дополнительного весьма тонкого тросика-проволоки из литой стали диаметром в 0,6 *мм*, идущего от барабана с основным тросом опускаемой в воду вертушки к телу последней.

Угол α определяется по угломерному приспособлению, показанному на фиг. 115. Длина тросика может быть определена по счетчику барабана.

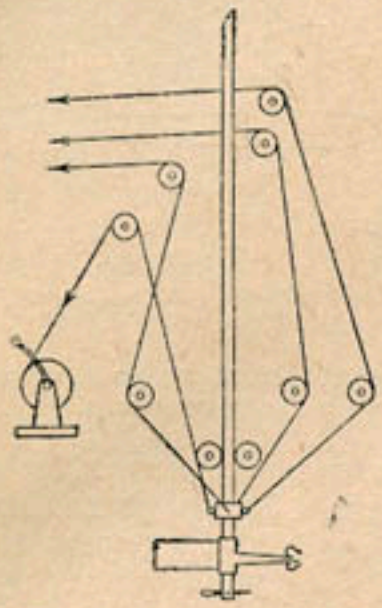
2. Полезно для предохранения вертушки от угона применять разного рода оттяжки, вроде показанных на фиг. 116.

3. Грузы (фиг. 117) присоединяются к вертушке в тех случаях, когда тело тросовой вертушки не имеет специального утяжеления (см., например, фиг. 105).

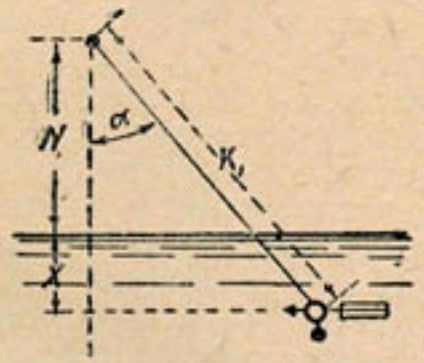
Грузы свободно подвешивают обычно при помощи специальных скрепляющих планок. Грузы следует помещать не ближе 30 *см* от тела вертушки, чтобы избежать влияния подпора. Для одной и той же вертушки желательно всегда применять стандартное закрепление и положение груза, отвечающее ее тарировке. Можно отметить весьма удобную конструкцию груза, предложенную П. И. Калинским (фиг. 118); груз этот снабжен щитком-погружателем, что дает возможность при небольшом весе груза успешно пользоваться им даже при значительных скоростях течения.

4. Стрела с блоком для опускания тросовой вертушки может быть осуществлена по типу показанных на фиг. 116 или фиг. 119 и 122 в тех случаях, когда измерения производятся с лодки.

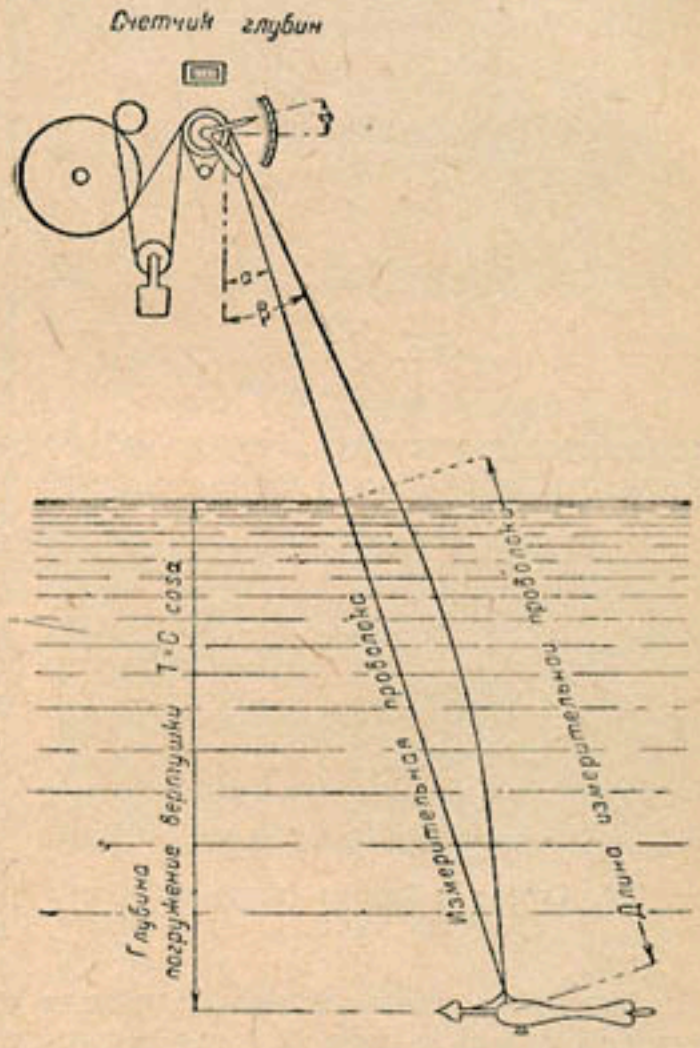
5. В случае отсутствия дополнительного тонкого тросика-проволоки при скоростях течения свыше 1,0 *м/сек* удобно пользоваться для учета угона троса спе-



Фиг. 113. Схема укрепления штанги.

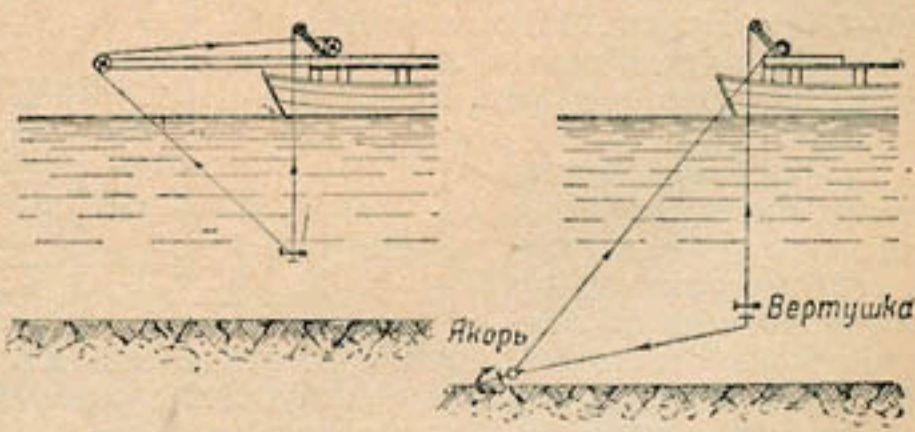


Фиг. 114. Схема угона вертушки при слабом течении.



Фиг. 115. Учет угона вертушки.

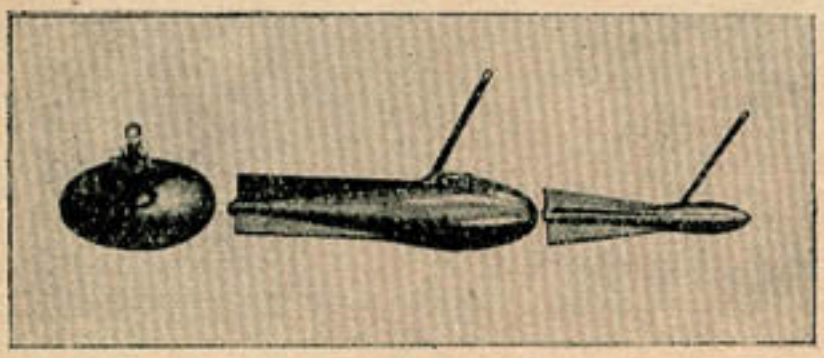
циальными поправочными таблицами, составленными ГГИ на основании соответствующих исследований (изд. ЦУЕГМС, 1935 г.). Эти таблицы дают величины поправок, которые надо просто вычитать из измеренной глубины (считая от поверхности воды); поправки определяются в зависимости от длины погруженного в воду троса и угла α отклонения троса от вертикали. Таблицы составлены для трех разных форм грузов: каплевидного, чечевицеобразного и шарового, и для трех диаметров троса — в 3, 5 и 7 *мм*; первые две формы грузов дают практически одинаковые величины поправок, а шаровой груз — на 30—50% больше; диаметры тросов в 3 и 7 *мм* дают величины поправок, весьма несущественно отличающиеся от таковых же для



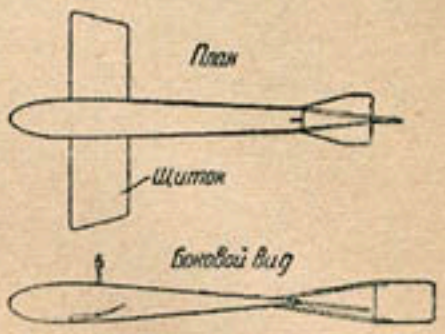
Фиг. 116. Оттяжки к тросовой вертушке.

диаметра 5 *мм*. Таблица поправок для каплевидного груза и для троса диаметром в 5 *мм* дана в приложении 5.

6. Лебедки для тросовых вертушек обычно состоят из следующих частей: барабан для наматывания троса, указатель количества оборотов барабана

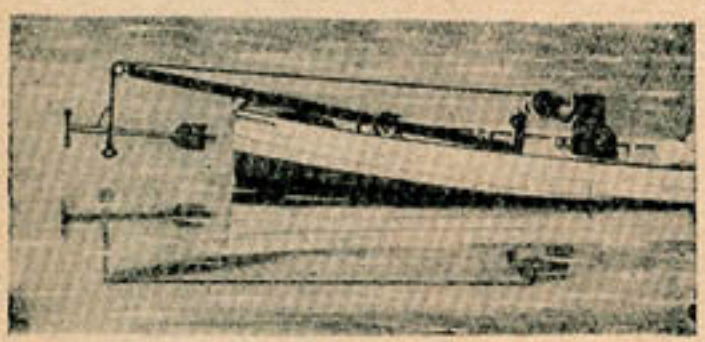


Фиг. 117. Типы грузов.



Фиг. 118. Груз со щитком-погружателем.

и передаточные шестерни к рукоятке, облегчающие вращение барабана. Хорошая лебедка должна быть: 1) легка и негромоздка; 2) прочна и допускать подъемное усилие до 70—80 *кг*; 3) должна иметь тормоз. Барабан устраивается пустотелым с деревянной обкладкой; он должен иметь достаточный диаметр и достаточную длину для навертывания троса на него в один ряд; барабан обычно имеет желобки, расположенные по винтовой линии; навертывание троса в два ряда нежелательно, так как при этом происходит порча его благодаря тяжелому грузу, находящемуся на конце. Обычная длина окружности барабана 0,5—1,00 *м*.



Фиг. 119. Стрела с блоком (вертушка Отта, тип VI).

Механизм, указывающий количество оборотов, делаемых барабаном, устраивается сбоку в виде циферблата; в новых системах лебедок на циферблате имеются 2 стрелки — одна для одного оборота, другая — для десяти оборотов. Отсчеты длины троса по циферблату могут быть сделаны с точностью до 2 *см*.

В СССР имеет применение лебедка Виттинга-Кузнецова (изготовляемая ГГИ), показанная на фиг. 120; лебедка эта применима лишь для грузов не свыше 16—20 *кг*. На фиг. 121 показана лебедка Ганзера, применяемая в Австрии при работе с мостов, а на фиг. 104 — лебедка Отта.

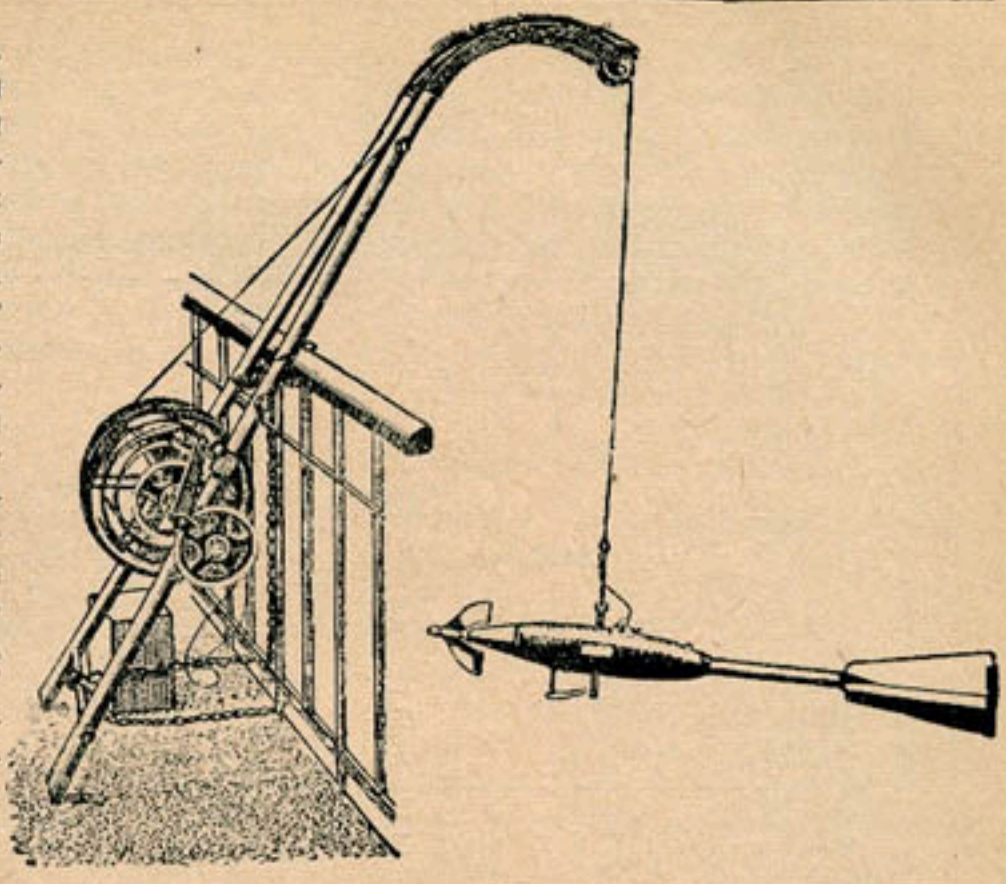
Фиг. 120. Лебедка Виттинга-Кузнецова.

При измерениях на малых реках Заволжья для опускания тросовой вертушки сбоку лодки применялся привинчиваемый к скамейке лодки металлический кронштейн с блоком и счетчиком оборотов, показанный на фиг. 122; укрепленный на конце кронштейна транспортир служит для отсчетов углов сноса троса.

Обычно трос для опускания вертушек служит одновременно и кабелем, почему на барабане лебедки помещаются зажимные винты для приключения проводов к звонку и батарее.

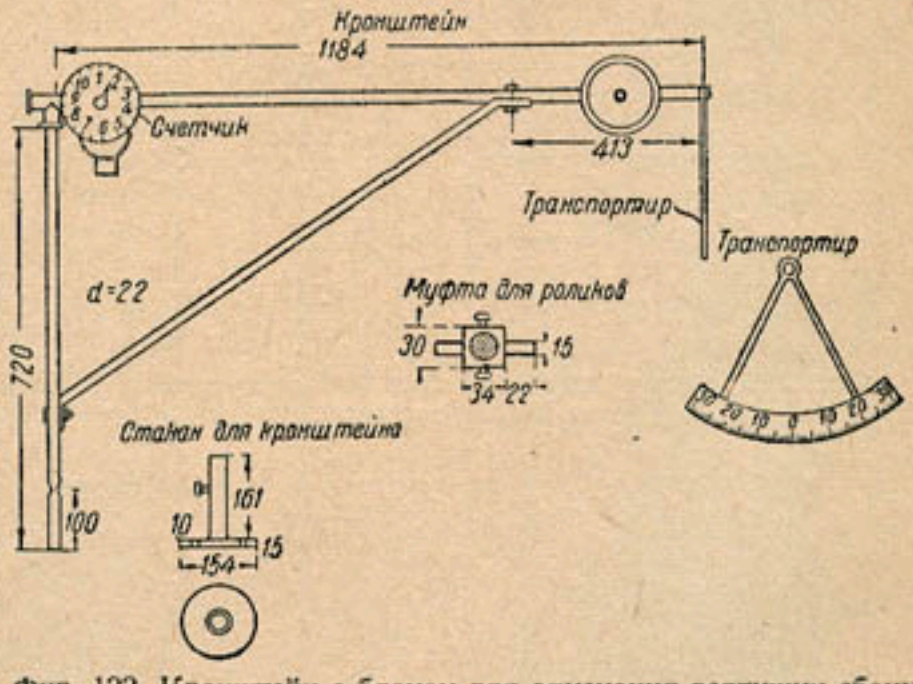
7. В некоторых странах (например, Саксония) широко применяются опускание и перемещение вертушки по створу при помощи канатной системы.

В этом случае (фиг. 123) через реку при помощи лебедки *B* и блока *A* перетягивается бесконечный трос *V* толщиной около 4 *мм*, размеченный на половину длины. Этот трос служит одновременно несущим и тяговым канатом для блока *D*, к которому на кабеле *U* подвешена вертушка *F*. Глубина ее погружения определяется по уложенной под тросом вблизи барабана *T* рейке или по прикрепленной к тросу рулетке. Действие всей системы понятно из фиг. 123.

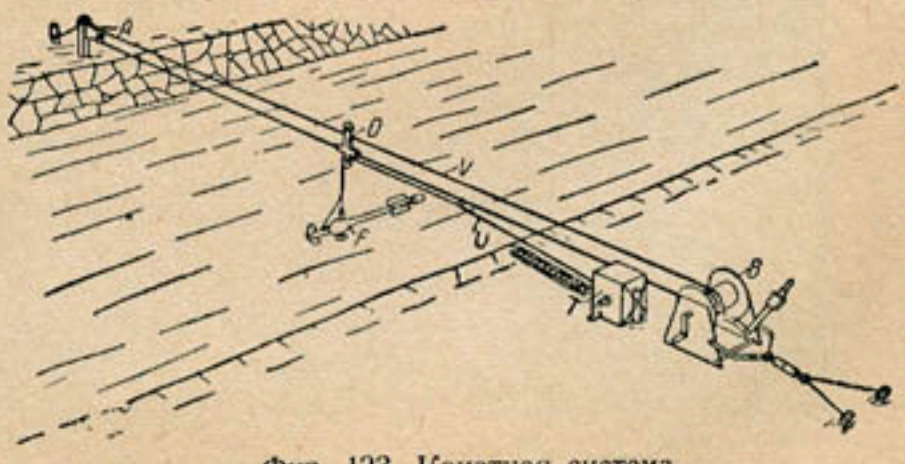


Фиг. 121. Лебедка Ганзера.

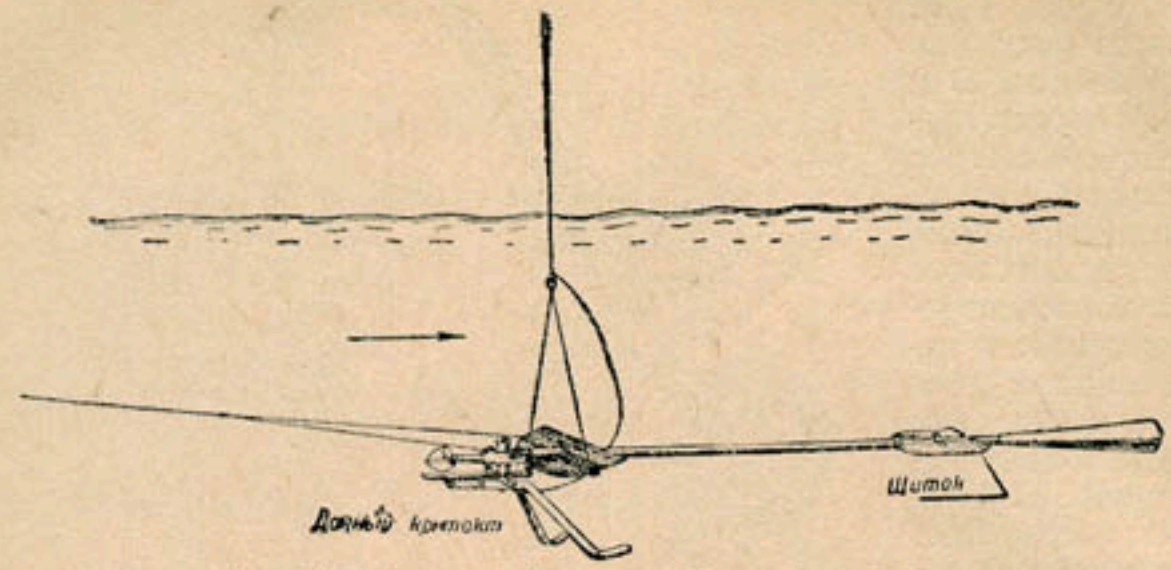
8. Из специальных приспособлений для опускания вертушки на тросе весьма удобен щиток-погружатель, предложенный Альбрехтом для вертушки его конструкции (фиг. 124) взамен грузов или утяжеления корпуса. К вертушке типа фиг. 110 после снятия ее хвоста присоединяется направляющий руль-штанга с раструбом-противовесом и с щитком-погружателем (фиг. 124); вертушка, подвешиваемая на подвесном (вертикальном) тросе и удерживаемая наклонным тросом, в силу действия течения на наклонную плоскость щитка-погружателя погружается на любую глубину по мере того, как отпускается подвесной трос и соответственно удерживающий. Момент соприкосновения с дном регистрируется при помощи сигнала от донного контакта (внизу, см. фиг. 124). Подвесной и удерживающий тросы



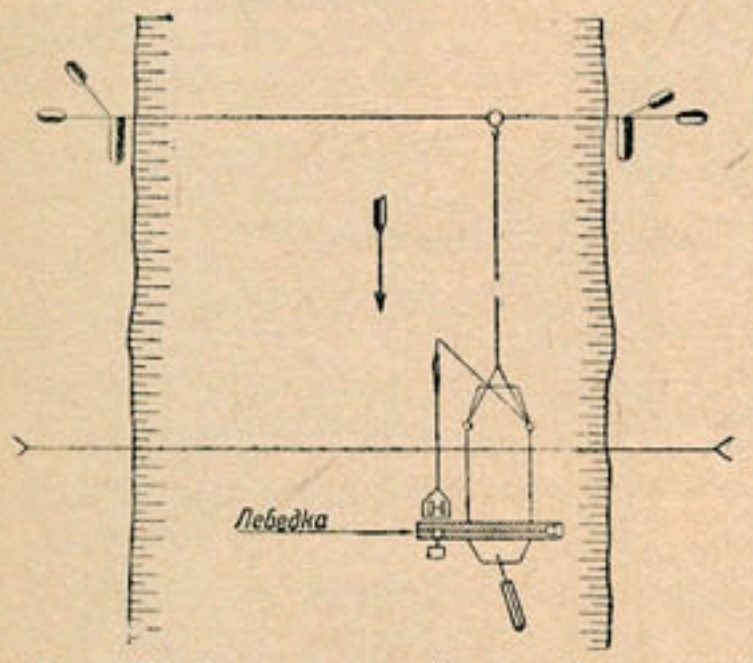
Фиг. 122. Кронштейн с блоком для опускания вертушки сбоку лодки.



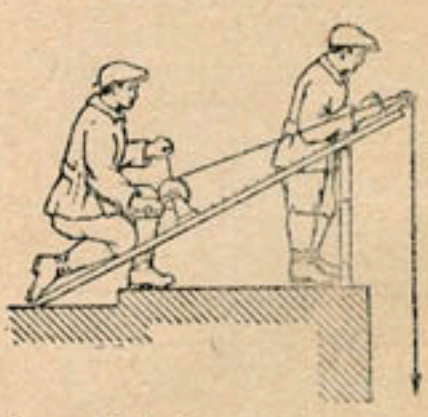
Фиг. 123. Канатная система.



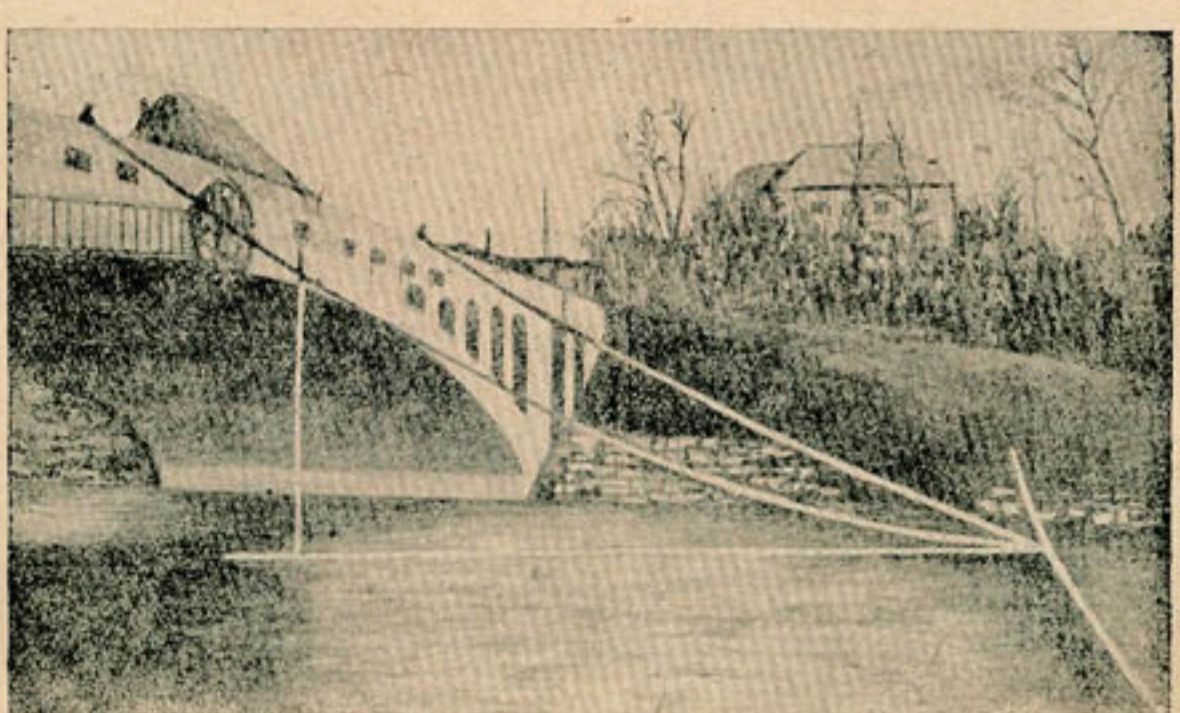
Фиг. 124. Вертушка Альбрехта-Килли на тросе.



Фиг. 125. Схема измерений тросовой вертушкой Альбрехта-Килли с парома.



Фиг. 126. Опускание вертушки с моста.



Фиг. 127. Схема работы вертушкой Альбрехта-Килли с моста.

при измерениях с лодки (или понтона) могут быть размещены в соответствии с схемой фиг. 116 (слева) или по схеме фиг. 125, где лодка удерживается на месте измерений оттяжкой, закрепленной при помощи бегучего блока на тросе, перекинутом через реку (в случае неширокой реки или на якорях при широкой реке).

При работе с моста на нешироких реках может быть применено размещение подвесного и удерживающего тросов, показанное на фиг. 126 и 127; удерживающий трос в этом случае закрепляется помощью бегучего блока с роликом на поперечном тросе, перетянутом через реку, а перемещение указанного блока по поперечному тросу осуществляется при помощи оттяжек, концы коих передаются на оба берега.

§ 68. Типы вертушек

Имеющиеся конструкции вертушек, как видно из сказанного ранее, отличаются большим разнообразием.

Можно подразделить существующие вертушки на ряд различных типов, исходя из особенностей их применения или устройства.

А. В отношении способа применения вертушки можно подразделить на следующие группы:

а) штанговые вертушки (со штангами упорными и подвесными);

б) тросовые (или подвесные) вертушки; частным случаем тросовых вертушек можно считать вертушки плювучие, с которыми можно работать только на плаву для измерения поверхностных скоростей;

в) универсальные вертушки, допускающие применение их и на штангах и на тросах.

Б. В отношении конструкции вертушки можно подразделить на такие группы:

1. По устройству оси: а) вертушки с горизонтальной осью (вертушки европейские); б) вертушки с вертикальной осью (американские).

Вертушки с горизонтальной осью можно подразделить на группы по устройству крыльев: а) с прямыми лопастями (Вольтмана, Отта); б) с винтовыми лопастями (Отта, Альбрехта, Ришара и др.).

2. По устройству счетного приспособления: а) вертушки с механическим счетчиком (Вольтмана); б) вертушки с акустической сигнализацией (Прайса); в) вертушки с электрической сигнализацией (все вертушки новых конструкций).

Вертушки с электрической сигнализацией можно подразделить в отношении устройства их контактного приспособления и контактной камеры на:

а) вертушки с открытой камерой;
б) » » полуоткрытой камерой;
в) вертушки с закрытой масляной камерой;
г) вертушки с закрытой магнитной камерой;

Обычное устройство контактного приспособления — пружинное, но может быть также дисковое (Альбрехта-Килли).

§ 69. Характеристики вертушек и их работы; требования к ним

Характеристики вертушек определяются как их конструкцией, так и некоторыми особыми требованиями обычных измерений скоростей. В этих отношениях наиболее важными моментами являются следующие:

1. Важнейшей характеристикой вертушки является ее чувствительность.

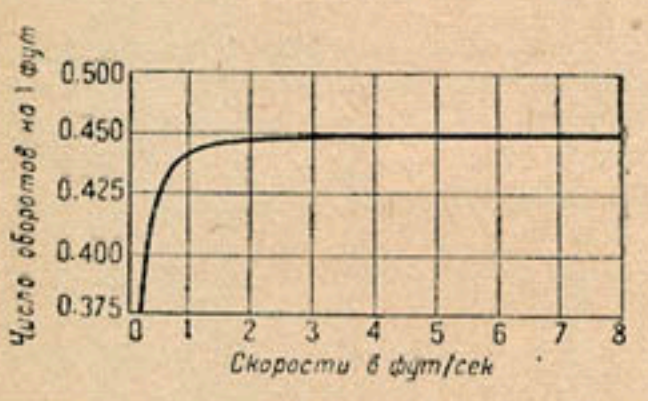
Обеспечение чувствительности вертушки зависит целиком от ее конструктивных особенностей. Чтобы вертушка была достаточно чувствительна, необходимо, чтобы лопасти вертушки меняли свою угловую скорость вращения с такой же быстротой, с какой изменяется величина скорости течения; иначе говоря, вращающаяся часть вертушки — назовем ее ротором — должна быть чувствительной ко всякому изменению скорости. Чувствительность ротора зависит

от таких конструктивных данных: 1) от момента инерции ротора; 2) от трения в подшипниках и от трения в контактном устройстве; 3) от поверхностного трения на поверхности лопастей.

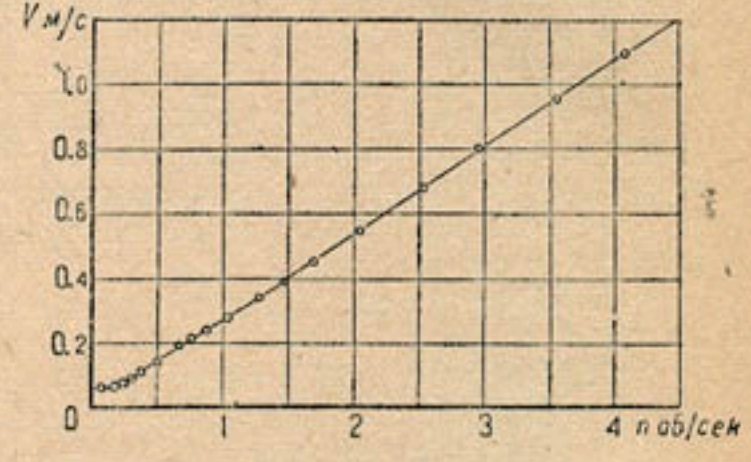
Если момент инерции велик, то недостаточно большие изменения в скорости течения не будут в состоянии изменить скорость вращения ротора, т. е. ротор не будет регистрировать действительные мгновенные скорости. Чем меньше момент инерции и чем легче лопасти, тем быстрее ротор вертушки будет воспринимать изменения (приращения или уменьшения) скорости. Из этого следует, что в хорошей вертушке лопасти должны быть расположены так, чтобы давать самый малый момент инерции.

Трение в подшипниках и в контактном устройстве является почти постоянным сопротивлением для каждого данного прибора и определяет собой так называемую начальную скорость, при которой начинает вращаться ротор вертушки.

Поверхностное трение зависит от формы вращающихся поверхностей, степени тонкости их отделки (гладкая поверхность) и расположения их относительно оси вращения; кроме того, в вертушках с горизонтальной осью поверхностное трение тем меньше, чем ближе форма ротора подходит к винтовой поверхности.



Фиг. 128. Кривая $M = f(v)$.



Фиг. 129. Кривая тарировки.

Если бы в вертушке не существовало сопротивлений от трения и от инерции ротора, то число оборотов N на единицу линейного измерения скорости v, т. е. $M = \frac{N}{v}$, должно было бы оставаться постоянным для любой скорости; на фиг. 128 показано то, что мы имеем на практике для одной из лучших конструкций вертушек (Отта), т. е. постоянство указанного соотношения имеет место, только начиная с некоторой скорости. Кривая подобного вида носит название кривой Эппера, и уравнение ее можно записать так: $M = f(v)$. При постоянстве величины M кривая тарировки должна была бы представлять прямую линию, проходящую через начало координат.

В хороших вертушках действительно имеем зависимость между числом оборотов в 1 сек. и скоростью — в виде прямой линии за исключением небольшого криволинейного участка у начала координат (фиг. 129). Скорость, при которой этот криволинейный участок переходит в прямолинейный, называется «критической скоростью» вертушки и определяет степень чувствительности вертушки.

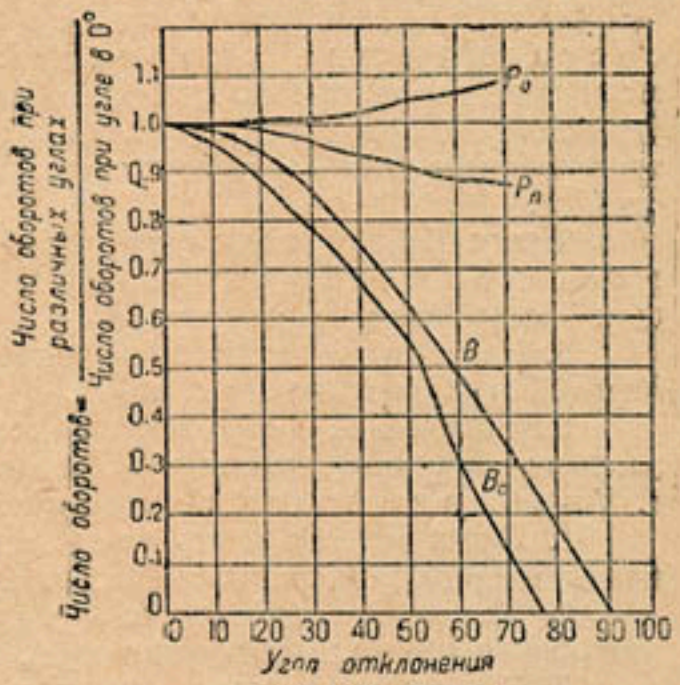
В хороших вертушках критическая скорость составляет 0,15—0,20 *м/сек*.

2. При измерениях скоростей течения, выполняемых для вычисления расходов, весьма важным является возможность непосредственного измерения нормальных составляющих к взятой плоскости живого сечения. Как было показано раньше (§ 52), истинную величину расхода можно получить путем введения в расчет лишь указанных нормальных составляющих; в противном случае при измерении скоростей струй косых по отношению к створу в подсчеты следует вводить поправочный сомножитель, равный $\cos \alpha$, где α — угол между нормалью к створу и косой струей.

В этом отношении необходимо подчеркнуть резкое принципиальное различие в конструкции вертушек с горизонтальной осью и с осью вертикальной.

В этих последних типах вертушек ротор является симметричным со всех сторон; поэтому вертушки такого типа регистрируют всегда максимальную скорость струи, совпадающую с ее направлением. В вертушках же с горизонтальной осью, с винтовыми лопастями, как отмечалось (§ 65), вращение ее лопастей осуществляется эффектом нормальных к оси прибора составляющих скоростей. Поэтому вертушки с горизонтальной осью, вообще говоря, имеют перед вертушками с вертикальной осью неоспоримое и значительное преимущество, не требуя столь тщательного выбора места измерений или введения поправок на косину струй, как вертушки с вертикальной осью; здесь имеем в виду применение обоих типов вертушек на штанге, позволяющей установить прибор нормально к створу.

Для иллюстрации сказанного приводим на фиг. 130 результаты испытаний вертушки с вертикальной осью (малой вертушки Прайса) и с горизонтальной осью (вертушка Фтили); опыты эти были произведены американским исследователем Ремпфом (Rumpf). Обе вертушки постепенно поворачивались на различные углы, от 0° до 90°, по отношению к направлению струи; скорость течения была во все время опыта одинаковой —0,9 *м/сек*. На фигуре обозначено: P_0 и P — число оборотов вертушки при разных углах, отнесенное к числу оборотов при угле, равном 0°, для вертушки с вертикальной осью; P_0 — при повороте вертушки влево; P — при повороте вертушки вправо; B_c — то же соотношение для вертушки с горизонтальной осью; B — значения нормальных компонентов косых скоростей при разных углах (т. е. $\cos\alpha$), т. е. показания, долженствующие иметь место для идеальной вертушки.



Фиг. 130. Испытание вертушек с вертикальной и горизонтальной осями.

Как видно из фиг. 130, вертушка с горизонтальной осью дает результаты, весьма близкие к кривой идеальной вертушки. Вертушка же с вертикальной осью, давая разные результаты при повороте вправо и влево (повидимому, в результате влияния коромысла у ротора), в среднем дает показания, близкие к совершенно независимым от угла отклонения.

3. С точки зрения приведенных выше соображений практически важным является также устойчивость вертушки во время измерений. При применении штанговых вертушек эта устойчивость установки вертушки достигается очень просто, для вертушек же тросовых должны иметь место как соответствующее конструктивное уравновешивание всех частей вертушки, так и удобства применения дополнительных удерживающих приспособлений.

4. Особо следует остановиться на разных условиях работы при применении штанговых и тросовых вертушек.

Вертушка на штанге, упираемой в дно, применима для работы лишь на сравнительно небольших глубинах и при не очень больших скоростях; обычно пределом применения таких штанг считают глубины в 3—4 *м*, а скорости —до 2,0 *м/сек*; в единичных случаях, при особо солидных штангах, можно констатировать их применение и при глубинах до 6—8 *м*. При значительных глубинах и скоростях не только маневрировать, но и удерживать штангу руками почти невозможно как вследствие ее веса, так и вследствие большого напора на штангу от быстро текущей воды. В этих случаях удобнее применять подвесные штанги.

Подвесные штанги можно применять при глубинах до 6—7 *м*; в исключительных случаях имело место применение штанг при глубинах до 10 и даже 18 *м* (измерения на Рейне в 1903—1907 гг.); в этом случае были изготовлены специально прочные штанги большого веса, требовавшие особого оборудования для работы с ними.

При работе вертушкой на тросе прежде всего необходимо иметь в виду, что при более или менее значительном течении и не очень тонком тросе вертушка на тросе подвергается угону; это затрудняет точную установку вертушки в требуемой точке, а также искажает измерения глубин (в сторону их преувеличения), если таковые измерения производятся при помощи вертушки; в последнем случае, как говорилось, в измеренные глубины следует вносить поправку, помножая измеренную глубину на $\cos \alpha$, где α — угол угона вертушки.

Далее, тросовые вертушки устанавливаются всегда по направлению данной струи, т. е. лишены способности давать нормальные составляющие скоростей по отношению к створу. Если такая вертушка не снабжена, как это бывает в обычных конструкциях, указателем направления струй, то при неблагоприятных условиях показания тросовой вертушки могут обусловливать в определениях расхода существенные ошибки.

Таким образом всюду, где возможно, следует всегда предпочитать применение вертушек на штангах, как обеспечивающих более надежные результаты.

5. Наконец, ряд требований к вертушке вытекает из обычных условий измерений в речных потоках.

Эти последние соображения и все разобранное более подробно выше позволяют формулировать такие общие требования к вертушкам:

I. Требования гидромеханические:

1. Вращающаяся часть вертушки (ротор, лопасти) должна иметь малый момент инерции; материал этой части должен быть возможно легок (дуралюминий).

2. Трение в подшипниках и в контактном устройстве должно быть минимальным (шариковые подшипники).

3. Поверхностное трение должно быть незначительно; в вертушках с горизонтальной осью вращающаяся часть должна быть очерчена по винтовой линии.

4. Зависимость числа оборотов ротора в 1 сек. от скорости течения должна быть на значительном протяжении прямолинейной, с критической скоростью порядка 0,15—0,20 *м/сек* и с возможно малой начальной скоростью (порядка 0,02—0,04 *м/сек*), особенно для потоков со слабым течением.

5. Ротор штанговой вертушки должен обладать способностью воспринимать при косом течении только лишь нормальную составляющую скорости, действующей в направлении оси вертушки.

6. Ось ротора должна быть горизонтальна.

7. Прибор при применении на тросе должен обладать устойчивостью в смысле отсутствия каких бы то ни было колебаний и сноса.

II. Требования практических условий работы

1. Прибор должен иметь простую и прочную компактную конструкцию.

2. Вес прибора должен быть незначителен, чтобы с ним легко было оперировать, перенося его с места на место, а также для облегчения перевозок.

3. Прибор должен легко и быстро разбираться для чистки, требуя для этого минимального количества операций и съемки частей.

4. Подшипники и контактная камера должны быть хорошо предохранены от загрязнения их мутью, илом и речным песком, не подвергаться коррозии и по возможности мало изнашиваться.

5. Ротор должен иметь способность отбрасывать плавающие твердые тела и вообще должен быть устойчив против повреждений.

6. Наиболее удобен в работе при разных условиях универсальный тип вертушки, годный для работы как со штанги (не особо большие глубины), так и с троса (значительные глубины); для целей определения расхода, как отмечалось, измерения со штанги всегда следует предпочитать измерениям при помощи троса.

В заключение следует отметить, что имеется ряд случаев, когда вертушка обычного типа может оказаться неприменимой.

Такими случаями являются:

1) очень малые глубины, меньшие обычной средней высоты вертушек, например, порядка 0,10—0,20 *м*;

2) наличие в потоке посторонних плывущих предметов, могущих повредить вертушку, например, льдины во время ледохода или иные плывущие предметы при паводках;

3) наличие в потоке в большом количестве водной растительности, затрудняющей свободную работу ротора;

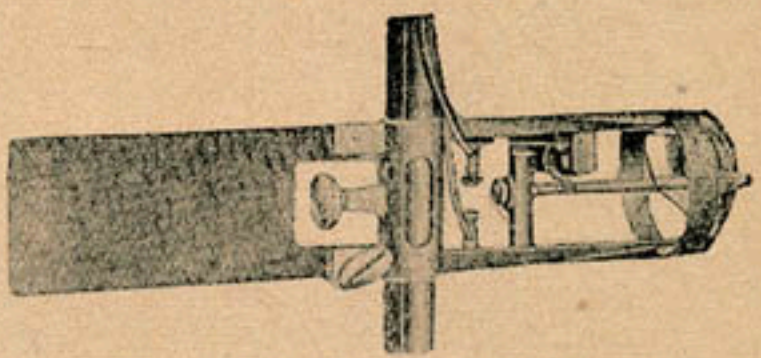
4) весьма значительные скорости — порядка больше чем 3,5—4,0 *м/сек*, т. е. выше обычного предела тарировки вертушек (хотя вертушка может работать и при более значительных скоростях — до 10—12 *м/сек*);

5) слишком медленное течение, менее 0,06—0,10 *м/сек* (в зависимости от типа вертушки); нужно иметь в виду, что с уменьшением величины измеряемых скоростей ниже известного предела точность измерений быстро падает, и в таких случаях любая вертушка может давать совершенно неприемлемые результаты, с ошибками, во много раз превышающими допустимые.

При применении нормальной вертушки в нормальных условиях (в полевой обстановке) точность ее показаний обычно оценивается в пределах 2—3%.

§ 70. Описание некоторых типов вертушек

1. Вертушки системы Отта тип X и IX отличаются только размерами (фиг. 131); тип X изготовляется в СССР в Тбилиси (Тифлисе) мастерскими ГУГМС. Трехкрылые лопасти размером в 5,5 *см* в типе X и 9 *см* в типе IX защищены от боковых ударов кольцом. Ось вращается в сапфировых подпятниках; при разборке вывинчивается передний винт. Контактный механизм — пружинный, открытый. Для применения на тросе к вертушке может быть присоединена вставка и пустотелый руль с шарнирной пластинкой и рыбовидным грузом.



Фиг. 131. Вертушка Отта, тип X и IX.

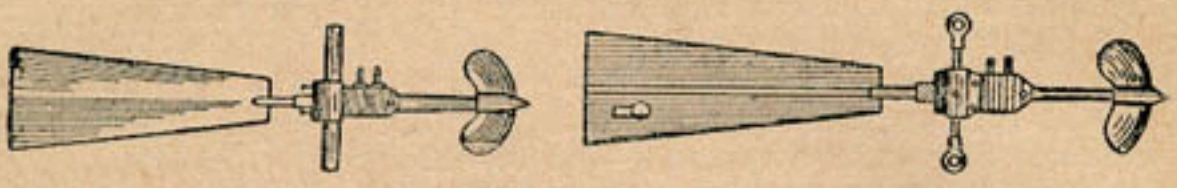
2. Средняя вертушка системы Отта тип IVb изготовляется в СССР в мастерских ГГИ в Ленинграде. Эта вертушка Отта (фиг. 103) имеет съемные лопасти параболического очертания, насаживаемые на ось вместе с муфтой *L* и закрепляемые контргайкой *P*. Передний конец оси вращается в шариковом подшипнике, а задний — в агатовом подпятнике. Подшипники доступны для воды, а потому в мутной воде быстро истираются. Контактный механизм — пружинный; в конструкции ГГИ на зубчатке имеется два серебряных штифта, дающих контакты через 25 оборотов. Вес с ящиком 4 *кг*.

3. В весьма большом количестве выпускаются на рынок у нас вертушки, имеющие контактное устройство по типу вертушки Отта тип IVb и внешний вид, как на фиг. 132 (модель 1931 г.); эти вертушки, известные под названием «Лагу», изготовляются в Институте водного хозяйства и мелиорации в Москве (Лагу — начальные буквы Лаборатории гидравлических установок при МИВХиМ, где эти вертушки были сконструированы инж. Грицуком). Очень удобным нововведением в этих вертушках следует считать съемную обойму для шариков в подшипнике. Эти вертушки хорошо себя зарекомендовали в работе; изготовляются для работы на штанге и на тросе.

4. Тросовая вертушка Отта типа VIIm (фиг. 104) состоит из длинного корпуса, снабженного крестообразным хвостом — рулем. Срединная часть этой вертушки имеет вид булавы и наполнена свинцом (вес 25; 50 или 100 *кг*). Плавники хвоста могут перемещаться вдоль хвостовой трубы для точного уравновешивания прибора. В силу большого собственного веса этот тип возможен к применению без

дополнительных грузов или же при сильном течении — с таковыми. Вертушка снабжена донным контактом. Счетный механизм в вертушках этого типа устроен по типу магнитной камеры магнитной вертушки (см. дальше).

5. На фиг. 119 показан несколько иной тип тросовой вертушки Отта VId. Здесь нет срединной булавообразной части; ее заменяет передняя тяжелая часть трубы, залитая свинцом. Вес этой вертушки — около 14 *кг*. Он рассчитан так, чтобы при не сильном течении вертушка не нуждалась в дополнительных грузах и вместе с тем чтобы имелась возможность работать с ней одному человеку, без

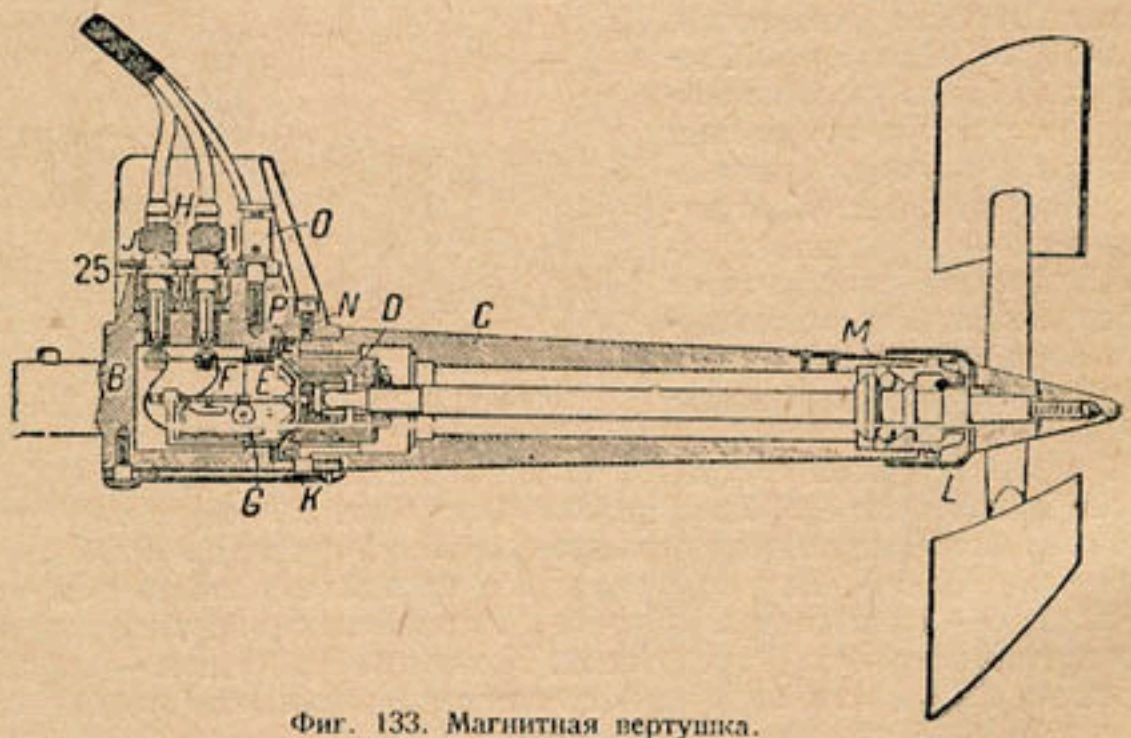


Фиг. 132. Вертушка Лагу.

специальных подъемных приспособлений, как показано на фиг. 119. Во всей остальной конструкции эта вертушка подобна разобранному выше типу VII.

6. Вертушка Менсинга-Отта с магнитной камерой изготовляется фирмой двух размеров: меньшего — тип VI и большего — тип VII.

Контактный механизм заключен в герметически закрытой камере (фиг. 133 слева) и приводится в действие извне путем магнитной индукции. Существенную часть механизма составляет крестовидный якорь *E*, насаженный на тонкой оси, укрепленной посередине контактной камеры и совпадающей с направлением



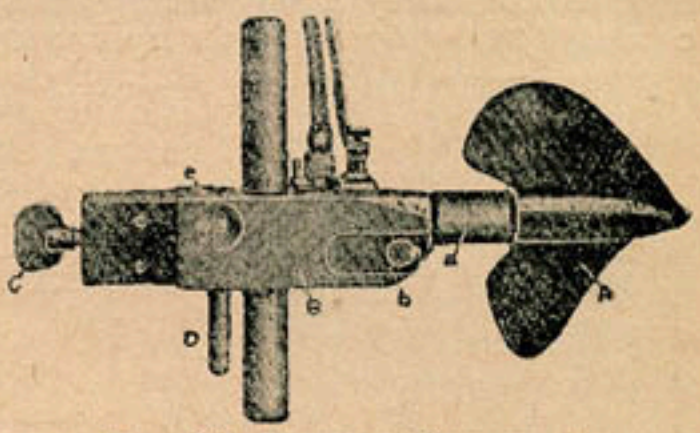
Фиг. 133. Магнитная вертушка.

оси, на которую наглухо насажены крылья вертушки. По другую сторону перегородки контактной камеры, на оси крыльев вертушки, помещен, почти вплотную около перегородки, подковообразный, с толстыми стенками, магнит *D*. Вращение магнита вызывает такое же вращение якоря в контактной камере. На оси этого якоря имеется палец *F*, замыкающий цепь через каждый оборот оси; провод от этого пальца выводится к зажиму *1*. Червячная передача приводит в движение колесико *G*, замыкающее цепь (при помощи штифта и контактной пружины) через каждые 25 оборотов; провод от этого контакта выведен к зажиму *25*. Вся система в контактной камере привинчена к крышке *B* и вынимается вместе с ней. Вводы контактов *1* и *25* изолированы от тела вертушки, а ввод *0* не изолирован и служит обратным проводником тока. Перегородка, около которой вращается передний конец якоря, может выниматься и имеет с другой стороны агатовый подпятник для оси, несущей крылья. Передний конец этой последней оси опи-

рается на шариковый подшипник, защищенный от попадания воды и мути винтовой муфтой.

Пространство, в котором помещена ось вертушки, имеет внизу отверстие, закрываемое клапаном *K*. Для предотвращения попадания мути и мелкого песка в камеру оси и, следовательно, в подшипники нужно перед работой эту камеру через клапан *K* заполнять керосином или чистой водой, а затем, убедившись в полном вытеснении из камеры воздуха, плотно закрывать клапан.

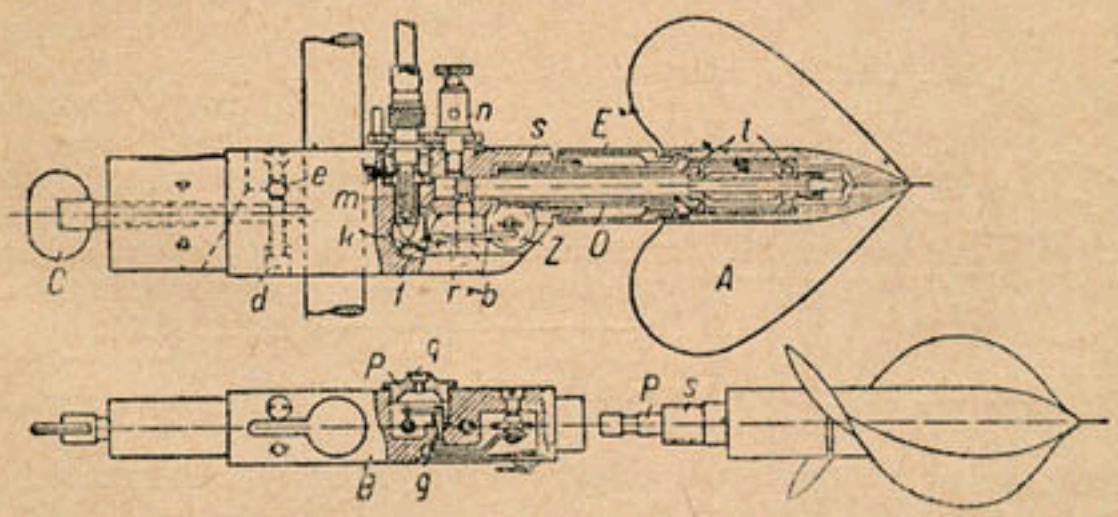
Таким образом в этой конструкции контактная камера обеспечивается от доступа воды. Некоторые практики, однако, утверждают, что после более или менее длительной работы имеет место размагничивание магнита и на этой почве возникают трудно устранимые перебои в работе внутреннего механизма.



Фиг. 134. Вертушка Отта, тип V.

7. Оригинальное и практически оправдавшееся устройство контактной камеры — масляной — имеет универсальная вертушка Отта тип V (изготовляется также в СССР).

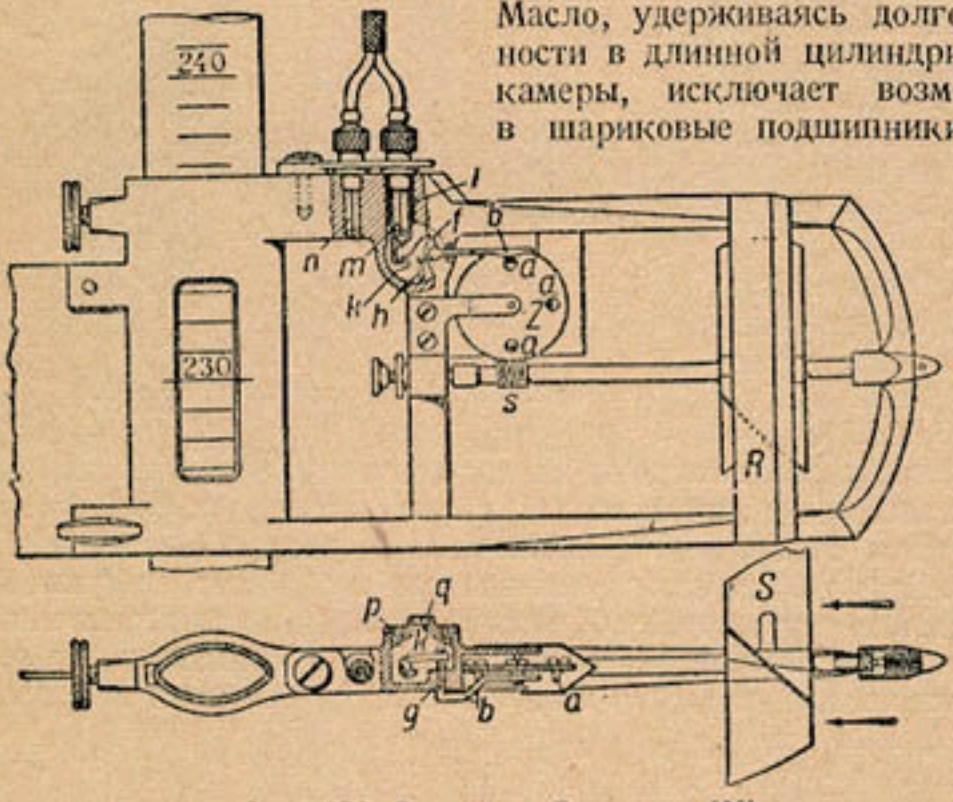
Контактное устройство состоит из двух камер: водонепроницаемой камеры для так называемого масляного контакта и камеры для контактного рычажка и колеса; первая закрывается сбоку особой шайбочкой *p*, вторая — задвижкой с кольцом *b* (фиг. 134). Принцип действия контактного механизма следующий (фиг. 135): вращение крыльев через трубку *O*, вращающуюся вместе с крыльями вокруг неподвижной оси, при помощи червячной нарезки *S* передается колесику *Z*, снабженному у своей оси упорными штифтами. К оси колесика *Z* прилегает плотно первый рычажок, соединенный своим другим концом наглухо с таким же вторым рычажком *f*, находящимся в масляной камере *k*; соединительная ось *g* плотно припасована к отверстию, соединяющему масляную камеру с первой камерой. В масляную камеру ввинчен изолированный от тела вертушки при помощи гуттаперчи и соединенный с кабелем штифт, оканчивающийся полукругло обточенным концом; при вращении колесика *Z* упорный штифтик колесика *Z* заставляет первый рычажок отклоняться вниз, отчего (через соединительную ось) второй рычажок *f* идет вверх и дает контакт с концом кабельного штифта. Второй зажимный винт имеет соединение с телом вертушки, почему при контакте ток замыкается. Контакт происходит через 20 оборотов или при двух штифтиках на колесике *Z* через 10. Контактная масляная камера наполняется маслом через вывинчиваемую крышку *p*; в крышке *p* имеется винтик *q*; при завинчивании уже наполненной маслом камеры винтик *q* вывинчивают, чтобы дать возможность



Фиг. 135. Вертушка Отта, тип V, разрез.

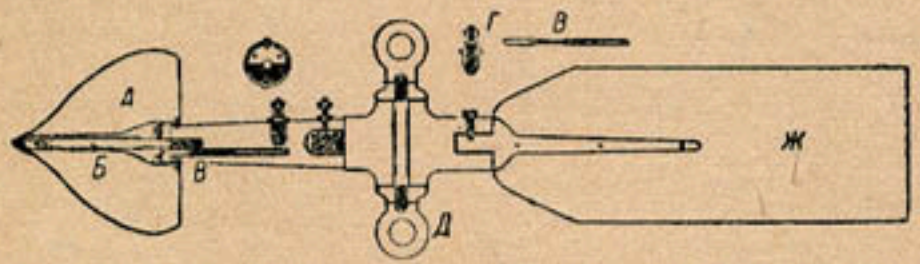
выходить наружу пузырькам воздуха; затем винтик *q* ввинчивается доотказа. Наполненная маслом камера держит полный объем масла до 6 мес. и даже более.

Достаточно надежно устроена вращающаяся часть. Ось вертушки неподвижна и закрепляется винтом *r*; вращающейся частью, как сказано, является трубка *O*, которая прилегает к неподвижной оси, не касаясь ее. Имеется два шариковых подшипника, оба — съемные. Перед употреблением вертушки пространство между осью и обоймой заполняется жидким маслом; для этого отвинчивают шайбу *E* и предохранительную крышку червяка и вынимают ось с осевой трубкой из камеры крыла; предварительно отвинчивается винт *r*. Масло, удерживаясь долго вследствие капиллярности в длинной цилиндрической полости осевой камеры, исключает возможность доступа воды в шариковые подшипники; наружные шайбы *E* делают это предохранение еще более надежным.



Фиг. 136. Вертушка Отта, тип IXb.

Эта же вертушка может быть превращена в тросовую (фиг. 105) путем присоединения к ней вместо короткого хвоста длинного (около 1 *м*), состоящего из двух свинчиваемых полых частей прямоугольного поперечного сечения; вместо упора *D* в соответствующее отверстие пропускается планка *E*, к которой присоединяется груз *G* весом в 5 *кг* и больше (до 25 *кг*): груз — из свинца и имеет рыбообразную форму с четырехлопастным хвостом (фиг. 105).



Фиг. 137. Вертушка «Волга», тип 1917 г.

Вся вертушка с принадлежностями для применения ее в виде как штанговой, так и пловучей (без штанг) имеет упаковку в одном ящике весом в 28 *кг* и размером 64 × 25 × 26,5 *см*.

Фирма Отта видит в описанном типе следующие преимущества:

1) большая чувствительность, начиная от 0,03 *м/сек*, при возможности работать и при скоростях до 6 *м/сек*;

2) малый размер, не вызывающий подпора даже в малых водотоках;

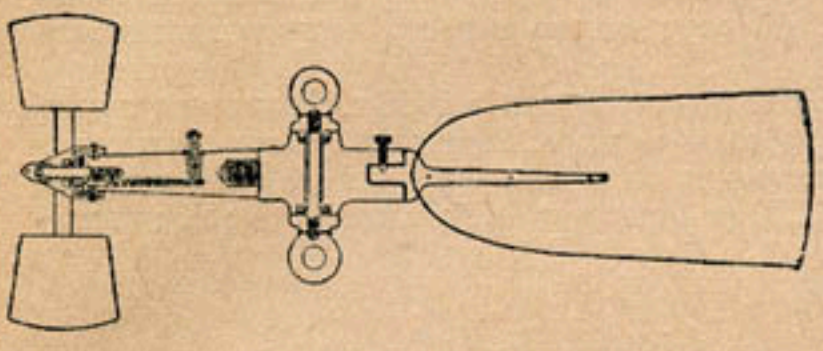
3) нечувствительность к химическим и механическим примесям в воде;

4) компактность и малый вес, что позволяет работать с ней одному человеку.

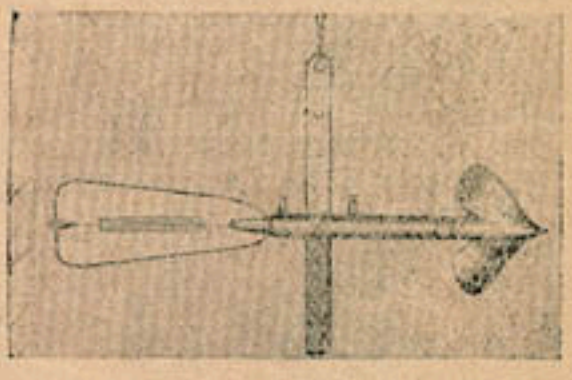
8. Точно такую же масляную камеру, как в типе V, имеет вертушка Отта тип IXb (фиг. 136). В отличие от типа V, камера для контактного рычажка и колесика здесь хотя и закрыта, но не изолирована от доступа воды. Действие сигнального приспособления понятно из фигуры. Ось — с обеих сторон на сапфировых подпятниках. На зубчатом колесике *z* размещены 4 цилиндрических штифта *a*, которые могут быть повернуты вокруг своей оси. Штифты имеют срезанное сечение, равное полуокружности, и могут быть поэтому установлены так, что при вращении зубчатого колеса могут или задевать или не задевать контакт-

ный рычажок-пружинку *b*. Таким образом путем различной установки штифтов *a* можно получать за один оборот зубчатого колеса *z* от одного до четырех сигналов, что отвечает 25, 50 и 100 оборотам лопастей. Это избавляет от слишком частых сигналов при больших скоростях и от редких сигналов — при малых.

9. Весьма простую конструкцию имеет русская вертушка инж. А. И. Крылова «Волга», пригодная для работы на тросе. Модель этой вертушки 1917 г. имеет контактный механизм, устроенный так (фиг. 137). На ось надет особый диск, одна половина которого занята вставкой из эбонита. В этот диск упирается пружинный контактный стержень *B*, изолированный от тела вертушки и закрепленный особым винтом, служащим одновременно и для прикрепления электрического



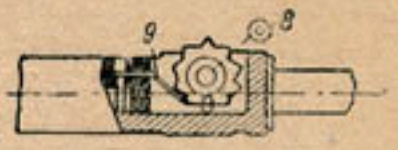
Фиг. 138. Вертушка «Волга», тип 1918 г.



Фиг. 139. Вертушка Жестовского, общий вид.

кабеля. При каждом повороте лопастей, когда контактный стержень попадает на эбонит диска, происходит размыкание тока. Таким образом контакт получается через каждый оборот лопастей; поэтому при больших скоростях течения ловить звонки на-слух весьма затруднительно и требуется применение автоматического электрического счетчика.

Модель вертушки «Волга» 1918 г. (фиг. 138) отличается от предыдущей наличием шарикового подшипника в оси и лопастями спицевого вида. Это изменение системы, с одной стороны, повысило чувствительность прибора, с другой стороны, лопаткообразные лопасти, благодаря тому что они вращаются медленнее, чем винтовые, дали возможность применить эту вертушку при большом шаге со звонком при скоростях, доходящих до 3—4 *м/сек*.



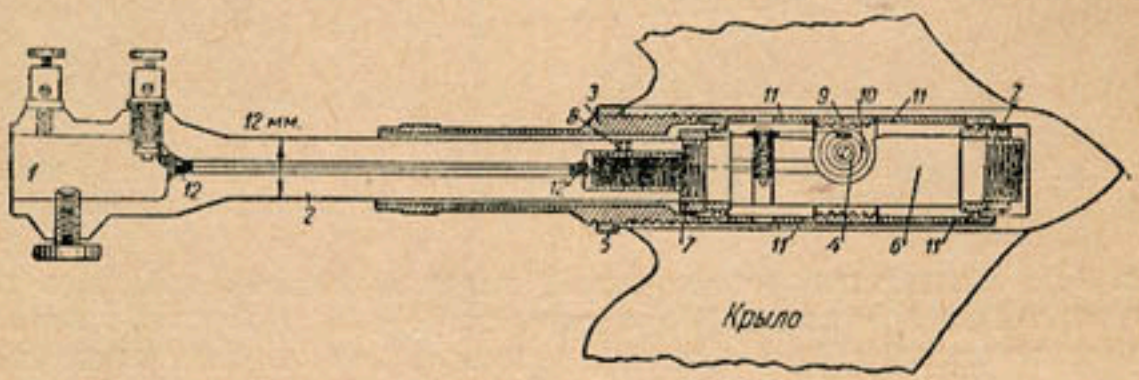
Фиг. 140. Контактное устройство вертушки Жестовского.

10. Мастерскими ГУГМС Северокавказского края (Аксай) изготовляются универсальные вертушки системы Жестовского с масляной камерой (фиг. 139). Для применения на штанге к корпусу вертушки может быть простым вдвиганием присоединена штанговая муфта (с диаметром от 20 до 36 *мм*). Контактное устройство помещено внутри втулки лопасти вертушки; оно состоит из контактной шестеренки *8* (фиг. 140) с эбонитовой изоляцией и контактным штифтом и контактной пружины *9*; внутри цилиндрической втулки лопасти вставлено съемное кольцо с внутренней винтовой нарезкой, которое служит для сцепления и вращения шестеренки; изолированный проводник от контактного устройства проходит внутри просверленной оси к изолированной клемме. На конце оси, ближайшем к лопасти, помещены два шариковых подшипника; шариковые подшипники охватывает цилиндрическая втулка, скрепляемая неподвижно при помощи гайки с лопастью вертушки; эта цилиндрическая втулка плотно охватывает неподвижную ось, но не касается ее. Полость внутри лопасти заполняется жидким маслом (костяным), которое удерживается в полости вследствие сил капиллярности в длинной цилиндрической щели между втулкой и осью. Этим устройством обеспечивается защита контактной камеры и шарикоподшипников от попадания воды, песка и мути. Цилиндрический латунный корпус имеет диа-

метр в 24 *мм*; неподвижная ось закрепляется в корпусе стопорным винтом; в корпусе имеется прорезь для закрепления хвоста. Лопасть имеет диаметр 12 *см* и изготовляется из алюминия. Вертушка весьма компактна, обладает хорошей чувствительностью (начальная скорость 2—3 *см*), проста и надежна в работе.

11. По идее В. И. Владычанского механиком Жестовским сконструирована вертушка Р. О., тип Б — «русский Отт». В этой вертушке (фиг. 141) контактный механизм также помещен в камере, находящейся в утолщении неподвижной оси под лопастями. Механизм этот состоит из изолированной клеммы со скользящей контактной пружинкой, постоянно соприкасающейся с поверхностью зубчатого колесика *10*, приводимого во вращение винтовой нарезкой на внутренней стороне обоймы лопасти; зубчатое колесо покрыто диском из слоновой кости с одной или двумя вставками из серебра. Изолированный провод выведен к изолированному наружному зажиму. Во внутреннюю полость лопасти наливается при сборке масло.

12. Американская вертушка Прайса (изобретена в 1885 г.) является типичным представителем вертушек с вертикальной осью. Вертушка эта весьма распространена в США; в несколько измененном виде вертушки такого типа изготовляются в массовом количестве в СССР (в Ташкенте) и известны у нас под назва-



Фиг. 141. Вертушка Р. О., тип Б.

нием вертушек ИВХ (по названию Института водного хозяйства в Ташкенте, организовавшего их производство); имеют особенно широкое применение в наших Среднеазиатских республиках, как весьма простые в обращении и нечувствительные к мутной воде.

Вертушки Прайса применяются как на штанге, так и на тросе; сигнализация осуществляется электрическая и акустическая.

Общий вид и детали устройства малой вертушки Прайса показаны на фиг. 142 (ссылки, приводимые ниже, относятся к нумерации этой фигуры).

Головная часть состоит из хомутообразной рамы *1*, несущей на себе ротор с шестью коническими чашечками *2*, прикрепленными к вертикальной оси при помощи горизонтальной оправы *3*. Ось имеет внизу выем в виде опрокинутого стаканчика, которым она опирается на ввинченный в раму опорный острый шпиль *6* из закаленной стали; верхний конец оси проходит свободно через втулку верхнего конца рамы и заканчивается наставкой с винтовой нарезкой.

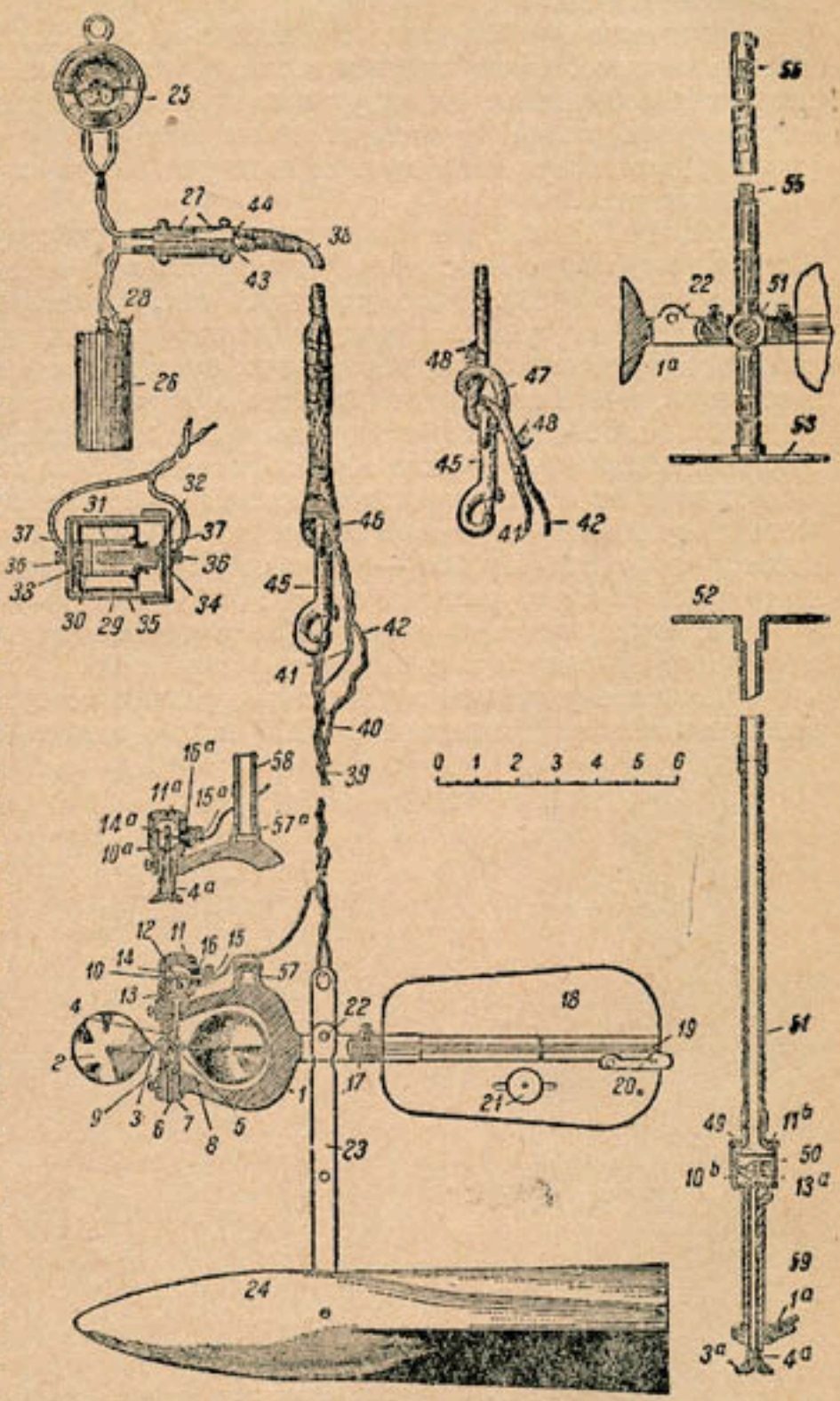
Опорный шпиль *6* ввинчен в металлическую шайбу *7*, которая пригнана к нижней части рамы при помощи скользящего соединения и закрепляется на месте при помощи зажимного винта. Шпиль этот может быть вывинчен, и острие его может быть отточено, если оно затупилось. Нижний конец оси ротора («стаканчик») окружен вращающейся вместе с ним муфточкой *9* с винтовой нарезкой; если поворачивать эту муфточку так, чтобы она вывинчивалась (придерживая ротор), то, упираясь нижним концом в тело вертушки, она приподнимает стаканчик (и всю ось) над опорным острием, застопоривая ротор. В таком состоянии должна находиться вертушка, когда она не работает.

Муфточка имеет левую нарезку, так что она не зажимает колеса, когда оно вращается

Конструкция и устройство съемной контактной камеры и контактного механизма зависят от того, желают ли применить регистрирующее приспособле-

ние пятиоборотное электрическое, однооборотное электрическое или акустическое. Для применения пятиоборотного электрического регистрирующего приспособления контактная камера *10*, закрытая сверху при помощи винтовой крышки *11*, скрепляется с верхней частью рамы скользящим соединением.

В контактной камере помещен цилиндрический вкладыш *12*, который поддерживает зубчатое колесо *13*, сцепленное с винтовой нарезкой верхнего конца оси ротора; сцепление это таково, что зубчатое колесо делает 1 оборот при 20 оборотах оси. На поверхности зубчатого колеса имеется 4 платиновых штифта, равномерно размещенных так, что они соприкасаются с контактной пружиной *14* при каждых пяти оборотах ротора вертушки, вызывая этим замыкание электрического тока, идущего к регистрирующему приспособлению, т. е. к звонку, телефону или счетчику. Контактная пружина сделана из платины и закреплена в контактном вкладыше *15*, который вделан в контактную камеру через каучуковую оболочку *16*, изолирующую, таким образом, контактную пружину от вертушки.



Фиг. 142. Вертушка Прайса.

При применении однооборотного электрического регистрирующего приспособления контактная камера *10a* и ее части такие же самые, как описанные выше, исключая того, что отсутствует зубчатое колесо *13*; при этом винтовая нарезка верхней части оси колеса вертушки заменена эксцентриком, который касается контактной пружины *14a* при каждом обороте, замыкая, таким образом, электрический ток, идущий к счетчику.

Пятиоборотное и однооборотное регистрирующие электрические приспособления взаимозаменяемы.

При применении акустического регистрирующего приспособления (фиг. 142 справа внизу) контактная камера *10b* закрыта сверху крышкой *11b*, снабженной металлической диафрагмой *49*, и вместо платиновой контактной пружины *14* и прокладки *16* имеется маленький молоточек *50*, который ударяет по диафрагме

после каждых пяти оборотов, будучи приводим в движение помощью штифтов на поверхности зубчатого колесика *13a*. Чтобы избегнуть попадания воды в звуковую камеру *10b*, к камере присоединена трубка *59* длиной около четырех дюймов и удлинена верхняя часть оси колеса вертушки *4a*; к трубке *59* присоединяется полая штанга *51*.

Вертушка Прайса весит без штанг около 0,5 *кг* и отличается значительной прочностью. Очень ценным в конструкции является то, что твердые примеси, как песок и ил, не могут попасть и задержаться на хорошо защищенных опорном острие и в подшипнике. Это делает вертушку Прайса весьма удобной для измерений в мутной воде рек, несущих наносы и более крупные инородные тела.

Следует, однако, иметь в виду, что по устройству своих чашечек вертушки Прайса всегда дают максимальную скорость в точке независимо от направления струй в потоке (§ 69). Поэтому при работах, претендующих на повышенную точность, этими вертушками следует пользоваться весьма осторожно и притом только на прямолинейных правильных руслах, где возможно ожидать направления струй, более или менее близкого к параллелизму.

13. Инж. Лосиевским в недавнее время предложены существенные конструктивные изменения вертушки Прайса, сводящиеся в основном к замене чашечек ротора вертушки дисками и к присоединению к корпусу вертушки направляющего кожуха для устранения отмеченного выше принципиального основного недостатка вертушки Прайса — независимости ее показаний от направления струи по отношению к направлению створа.

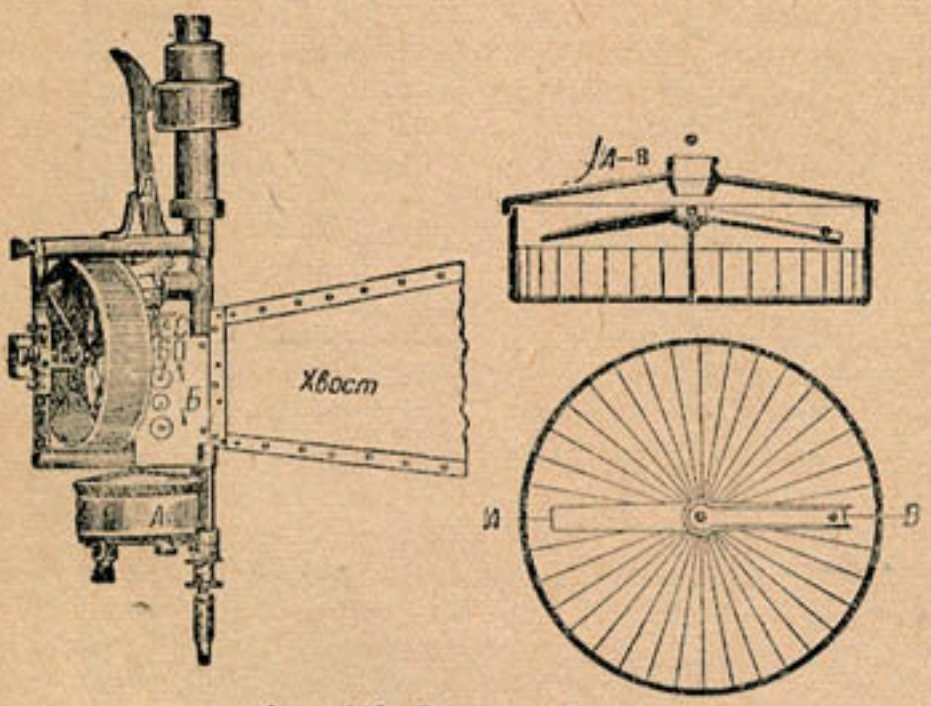
14. Выше описаны наиболее характерные типы вертушек из числа тех, которые получили то или иное распространение.

Наиболее удобными и надежными типами вертушек для практической работы из числа изготовляемых в СССР можно считать следующие:

1) для малых рек в низкую воду — штанговые вертушки типа Отта и вертушки Лагу;

2) для средних рек и больших рек — вертушки типа V Отта, — вертушки Жестовского и Лагу.

Для рек, для коих характерно наличие очень мутной воды, целесообразно применять вертушки Жестовского с масляной камерой.



Фиг. 143. Вертушка Экмана.

§ 71. Приборы для измерения направления струй

Для измерения направления струй имеются особые конструкции вертушек, в которых кроме частей, подобных описанным выше, имеются еще особые приспособления, дающие возможность фиксировать направление струй. Эти приспособления рассчитаны обычно только на определение направления скоростей в одной горизонтальной плоскости.

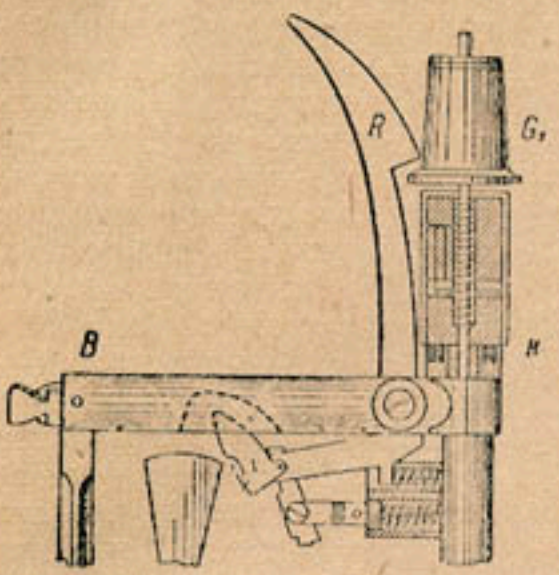
Можно указать ряд типов подобных приборов: вертушку Экмана (или Экмана-Мерца), американскую вертушку, по принципу которой устроена также вертушка Отта типа VIIb, штанговую вертушку Владычанского и другие.

Имеются также оригинальные конструкции, регистрирующие направление струй автоматическими записями и фоторегистрацией на светочувствительной ленте; вертушки этого последнего устройства (предложенные Винтерсом) реги-

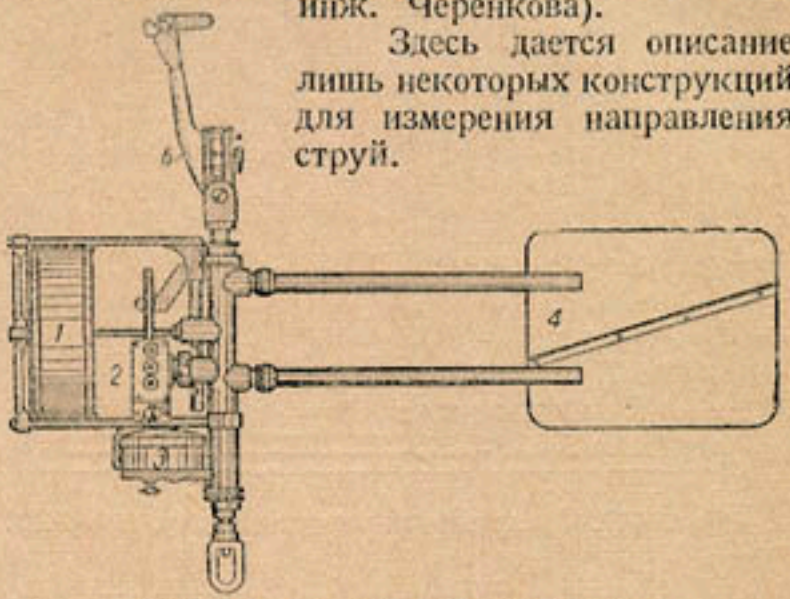
стрируют одновременно направление струй как в вертикальной, так и горизонтальной плоскостях.

Кроме таких специальных вертушек для определения направления струй находят также применение механические указатели, как, например, бифилярные устройства или специальные флюгеры (как, например, флюгер инж. Черенкова).

Здесь дается описание лишь некоторых конструкций для измерения направления струй.

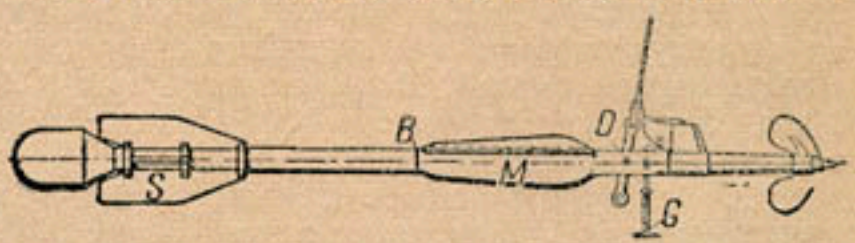


Фиг. 144. Деталь вертушки Экмана.



Фиг. 145. Вертушка Экмана-Мерца.

1. Вертушка Экмана, подвергшаяся после ее изобретения многочисленным усовершенствованиям, не имеет сигнализации на поверхность (фиг. 143). Для измерений она опускается в воду на тросе с подвешенным внизу грузом и имеет свободное вращение вокруг вертикальной оси на горизонтальном шариковом подшипнике под действием своего хвоста. Ротор, состоящий из четырех алюминиевых крыльев, укреплен на горизонтальной оси в четырехсторонней вертикальной рамке. Винтовая нарезка на оси соединяется с механическим счетчиком, имеющим три счетных зубчатых колеса, помещенных в коробке счетчика и снабженных снаружи циферблатами со стрелками-указателями для отсчета десятков, сотен и тысяч оборотов.

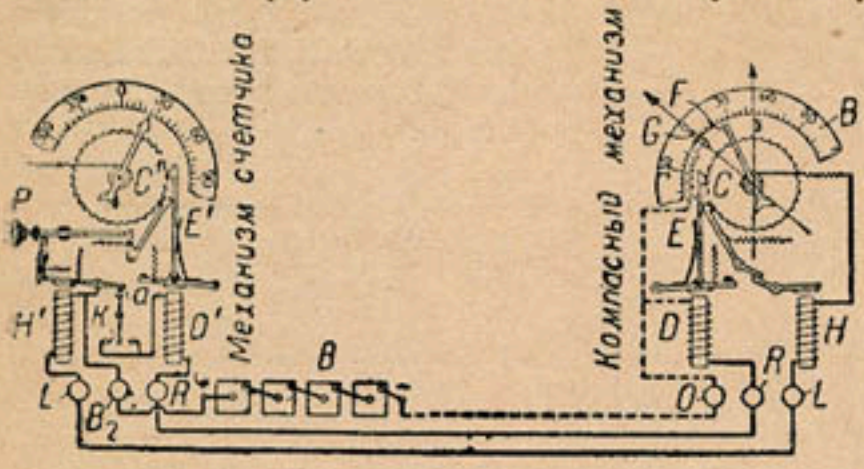


Фиг. 146. Вертушка Отта для измерения направления струй, тип VIIb.

При опускании прибора в воду ротор застопорен рычагом *Д* (фиг. 143), верхний конец которого прижимается к тросу действием пружины. Когда вертушка опущена на нужную глубину, по тросу спускают так называемый посыльный груз, отодвигающий рычаг так, что ротор освобождается и начинает работать. По истечении некоторого времени (5—10 мин.) по тросу опускается второй груз большого диаметра, надевающийся на первый груз и отодвигающий рычаг *Д* (деталь *R* на фиг. 144) еще больше, отчего ротор опять застопоривается. Механизм для указания направления течения помещен внизу вертушки; он представляет собой круглую магнитную камеру *А*, разделенную на 36 секторов, с особой магнитной стрелкой, помещенной вверху камеры внутри ее. Перед наблюдениями через особую воронку *С* в механический счетчик числа оборотов, в ячейку особого магазинного колесика, накладываются маленькие бронзовые шарики. Вертушка устанавливается по направлению течения при помощи руля, совпадающего с продольной осью вертушки. Когда лопасти вертушки вращаются, то благодаря перемещению магазинного колесика через каждые 50 оборотов из счетчика выпадает 1 шарик и, проходя через отверстие в центре коробки счетчика, попадает в чашечку на магнитную стрелку, сделанную над центром ее вращения. Магнитная стрелка имеет наклонный желобок вдоль своего северного конца, и шарик, попав в центр стрелки, катится по ней по направлению ее северного конца к од-

ному из 36 секторов магнитной камеры, указывая азимут направления течения. Так как каждый из секторов камеры имеет угол, равный 10°, то точность определения угла отклонения струй по отношению к магнитному меридиану может быть также в 10°.

Отсчеты углов отклонения, как и числа оборотов, таким образом, требуют вынимания вертушки из воды; магнитную камеру отвинчивают и направление течения определяют по положению шариков в том или другом секторе камеры; шарики обычно располагаются не в одной ячейке, но все же в одну из них всегда попадает преобладающее большинство, например, из восьми шариков в первом секторе может быть 2, во втором—4 и в третьем—снова 2; такое расположение указывает, что направление струй во время наблюдений менялось. Зная положение гидрометрического профиля по отношению к магнитному меридиану, легко определить и направление струй потока.

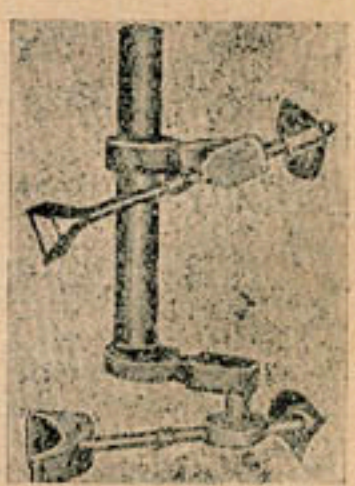


Фиг. 147. Схема работы вертушки Отта, тип VIIh.

Недостатком вертушки Экмана является невозможность проследить последовательность падения шариков и значит уяснить картину изменения струями своего направления. В целях устранения этого неудобства инж. Е. В. Близняк предложил шарики перенумеровывать и закладывать в счетную коробку в известной последовательности.

Вторым недостатком вертушки Экмана является отсутствие электрического счетчика оборотов и электрической передачи для регистрации отклонения струй; необходимость каждый раз вынимать вертушку из воды осложняет работу.

Вертушка Экмана (фиг. 145) была усовершенствована Мерцем. Шарики здесь помещаются не в колесе счетчика, а в специальном магазине, надеваемом на приемную трубку; введен также ряд иных, не принципиальных изменений. В таком виде вертушка Экмана-Мерца изготовляется у нас в СССР в мастерских «Водтрансприбора» в Ленинграде.



Фиг. 148. Вертушка Отта «Потомак».

2. Американская вертушка и вертушка Отта типа VIIh имеют электрическое оборудование и, являясь более усовершенствованными приборами, чем вертушка Экмана, в то же время отличаются более значительной сложностью устройства деталей.

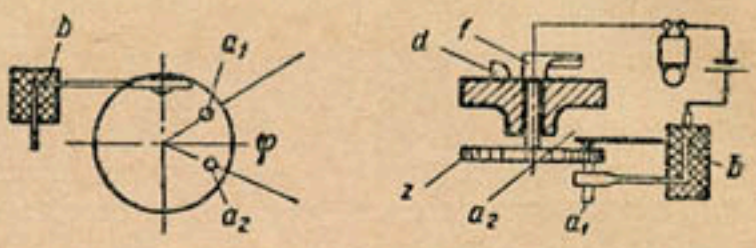
Общий вид и схема работы вертушки Отта типа VIIh даны на фиг. 146 и 147. Здесь приведем только главные принципы ее устройства.

Вертушка типа VIIh —тросовая, с магнитной контактной камерой (по типу VIh). Внутри корпуса вертушки имеется наполненная керосином компасная коробка M с плоувчей шкалой компаса B (фиг. 147). Под этой шкалой находится колесо C с 180 зубцами. Эти зубцы зацепляются собачкой E, перемещаемой якорем электромагнита D, каждое притягивание которого поворачивает зубчатое колесо на 1 зубец, т. е. на 2°.

Электромагнит приводится в действие с установки над поверхностью воды прерывистым током от батареи при помощи автоматического прерывателя K, соединенного с часовым механизмом. Поворачивание собачкой зубчатого колеса продолжается до тех пор, пока контактный штифт F не коснется контакта G у шкалы, которая перед этим останавливается еще при первом же замыкании

тока. При соприкосновении штифта F с контактом G ток направляется через другой электромагнит H, якорь которого освобождает шкалу и отстраняет от зубчатого колеса задерживающую и толкающую собачку. Пружина возвращает зубчатое колесо в его исходное положение, готовое для нового измерения.

Ток в электромагниты идет от прерывателя по изолированным проводам; кроме этого от батареи к корпусу вертушки идет неизолированный провод, служащий одновременно для сигнализации оборотов лопастей и для донного контакта.

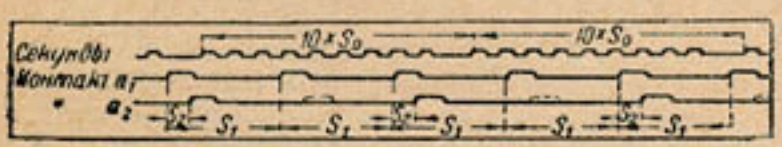


Фиг. 149. Схема устройства вертушки «Потомак».

Автоматический счетчик на поверхности (фиг. 147 слева) имеет точно такие же электромагниты D' и H' и зубчатое колесо C', как вертушка, только вместо свободного компасного круга устроен неподвижный лимб, разделенный через 2°, по которому отсчитывается указываемое стрелкой от зубчатого колеса направление течения. Для производства измерения надо лишь нажать кнопку P. От этого собачка E' отходит от зубчатого колеса, которое под действием пружины возвращает стрелку на нуль. Одновременно освобождается якорь электромагнита H', замыкая другую цепь в точке a. С этого момента от создаваемых прерывателем K замыканий тока начинают в такт работать электромагниты D и D' и одинаково передвигают зубчатые колеса до момента прикосновения штифта F к контакту G. В этот момент возбуждаются электромагниты H' и H, первый прерывает ток в точке a, второй возвращает компасный механизм в вертушке в состояние покоя. Указатель сохраняет конечное положение до начала следующего наблюдения. Продолжительность наблюдения пропорциональна искомому углу и не превышает 45 сек., так как часовой механизм дает 3 контакта в 1 сек.

Эта вертушка может применяться при весьма значительных глубинах, до 100 *м*. Стоимость вертушки довольно значительна.

3. Вертушка по типу фирмы Отта «Потомак» дает направления струй в одной плоскости — или в вертикальной, или в горизонтальной; помещая две вертушки на одну штангу (фиг. 148), можно измерить направление струй в обеих плоскостях. Схема контактного устройства показана на фиг. 149. Части f, d и z соединены с корпусом вертушки, устанавливающимся по направлению течения; часть b с контактными пружинами a_1 и a_2 неподвижно закреплена к выступу штанги. Колесо z приводится во вращение бесконечным винтом на вращающейся оси лопастей и при помощи контактного штифта под пружинкой a_1 передает запись числа оборотов на ленту хронографа (§ 72). При вращении колеса z вращается и надетый на его ось рычажок f со скошенной нижней поверхностью; этот рычажок при вращении задевает стерженек d со скошенной верхней поверхностью, в силу чего ось и зубчатое колесо z в этот момент подтягиваются кверху и происходит замыкание между пружинкой a_2 и лежащим под ней вторым контактным штифтом и получается второй контакт, также отмечаемый хронографом (2-м пером его). Контакты a_1 и a_2 замыкаются таким образом один раз в течение одного оборота колеса z, но контакт a_2 имеет место только при подтягивании колеса z вверх по сказанному выше. При совпадении направления струи с направлением, перпендикулярным к створу, стерженек d лежит в плоскости продольной оси вертушки и оба контакта имеют место одновременно. Если же вертушка устанавливается под некоторым углом φ к нормальному положению, то стерженек d отходит от своего нормального положения также на угол φ и контакт a_2 наступает соответственно позже, например, через S_2 сек. после контакта a_1.



Фиг. 150. Запись на ленте хронографа для вертушки «Потомак».

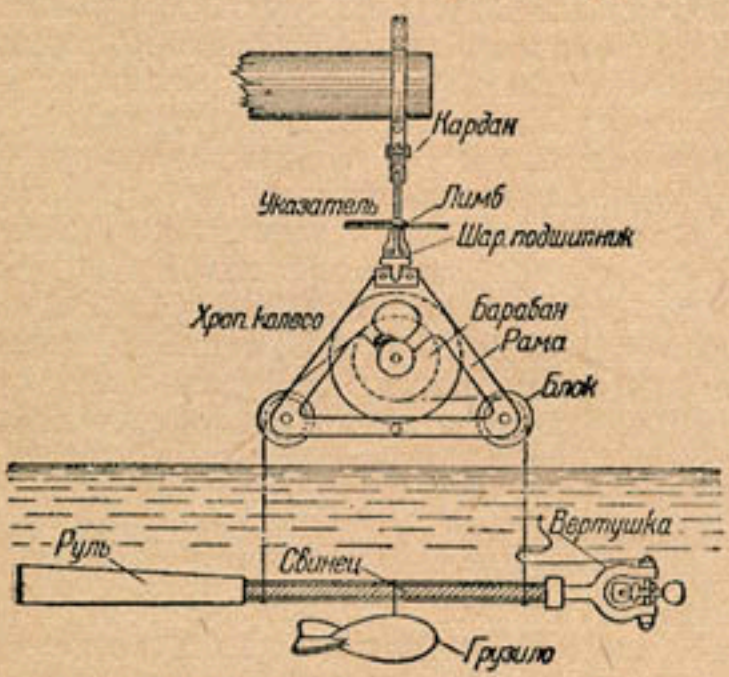
Так как полному интервалу между звонками в S_1 сек. отвечает 360°, то угол φ определяется таким образом:

$$\frac{\varphi}{360^\circ} = \frac{S_2}{S_1}; \quad \varphi = \frac{S_2 \cdot 360^\circ}{S_1}.$$

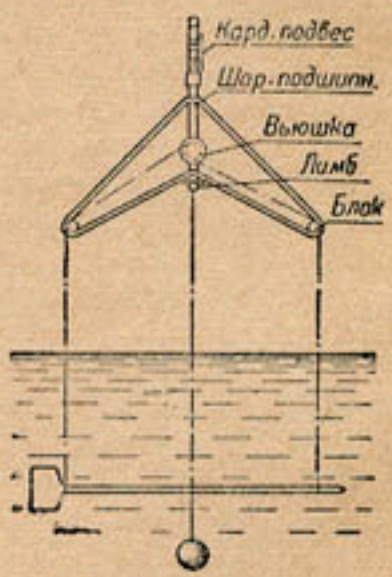
На фиг. 150 показан образец записи на ленте хронографа, по каковой можно найти величины S_1 и S_2. Помимо штанги вертушку «Потомак» можно применять на бифилярном подвесе (см. дальше) как тросовую.

В несколько измененном механиком Н. Е. Жестовским виде описанная вертушка изготовляется у нас в мастерских ГУГМС Северокавказского края в Акса[illegible].

4. В последнее время начинают все шире и шире применять для определения направления струй так называемые б и ф и л я р н ы е п о д в е с ы. Эти подвесы дают возможность использовать для определения направления струй тросовые вертушки любых конструкций (при одновременном измерении скоростей). Пример конструкции бифилярного подвеса показан на фиг. 151 (в применении к вертушке Прайса). Подвес состоит из рамы, в центре которой помещен барабан, от которого через блоки идут тросы, поддерживающие флюгер; к переднему концу последнего прикреплена вертушка (фиг. 151), а к последней — груз. Рама бифилярного подвеса вращается своей втулкой (вверху рамы) на шариковом подшипнике, укрепленном на подвеске; подвеска подвешивается к стреле (выпускаемой с лодки или с парома) при помощи универсального шарнира или карданного подвеса, чтобы этим обеспечить правильное действие прибора при волнении и качке. Со втулкой рамы бифиляра скреплен неподвижно латунный лимб, разделенный на пятиградусные деления, движущийся вместе с рамой под стрелкой-указателем, которая закреплена неподвижно на стержне подвески. Указатель может быть ориентирован в любом направлении, обычно перпендикулярно к профилю. Таким образом углы поворотов рамы вместе с флюгером и вертушкой могут легко отсчитываться по неподвижно устанавливаемому указателю лимба.



Фиг. 151. Бифилярный подвес.



Фиг. 152. Бифилярный подвес.

Применяются также бифиляры, имеющие значение самостоятельных приборов, для определения направления струй, но без одновременного определения скоростей. Фиг. 152 показывает конструкцию такого рода прибора, принятую в американской практике. В этом случае подвешиваемый флюгер оканчивается острием. Рама имеет вид двух косых треугольников, соединенных короткой стороной. Расположение отдельных частей такого прибора видно из фигуры.

Применяются также более сложные конструкции бифиляров с подвешиванием на одной подвеске трех рам и соответственно трех флюгеров (обычно с вер-

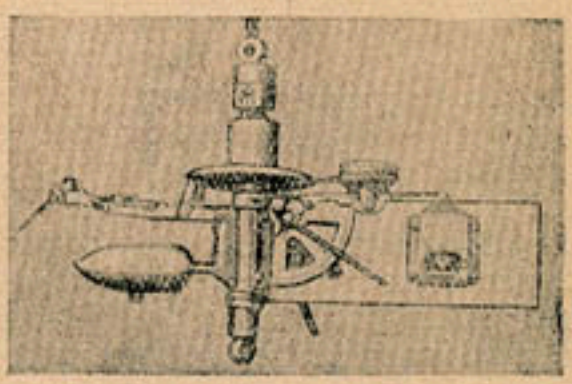
тушками); этими приспособлениями можно сразу определять направления струй и их скорости для трех разных глубин.

В ряде бифилярных устройств применяются электрические указатели направления течения, основанные на принципе контактов или изменений сопротивлений.

Бифилярные подвесы оказываются весьма удобными в работе, будучи в то же время достаточно просты по своему устройству; повидимому, им предстоит более широкое применение, чем описанным выше сложным конструкциям специальных типов вертушек.

5. В качестве примера простого механического указателя направления струй можно упомянуть сконструированный инж. Л. Ф. Черенковым прибор для измерения направления струй как в вертикальной, так и горизонтальной плоскостях и в то же время для измерения мгновенных скоростей. Фиг. 153 дает общий вид этого флюгера Черенкова. Прибор может работать как на штанге, так и на тросе.

На трубчатой вертикальной оси вращается на шариковых подшипниках хвост, устанавливающий прибор по направлению течения; с обеих сторон хвоста прикреплены, тоже на шариковых подшипниках, две свободно вращающиеся пластины, угол отклонения коих от их начального положения может быть прочитан по шкале калиброванного на градусы сектора (фиг. 153). Эти пластинки предварительно тарируются на соотношения между углами их отклонений и мгновенными скоростями течения. Сверху хвоста помещен компас, стрелка коего имеет назначением регистрировать направление струй в горизонтальной плоскости; ближе к задней части хвоста укреплен креномер для регистрации уклонений положения прибора от вертикального и введения на этом основании соответствующих поправок. В передней части прибора (на фиг. 153 слева) на специальном выносе укреплена свободно вращающаяся в вертикальном направлении третья пластинка, назначение коей — регистрировать вертикальные наклоны струй. На трубчатой оси, над хвостом, помещена муфта, снабженная рядом передаточных рычагов, так что при опускании этой муфты на хвост автоматически закрепляются свободные до этого момента все три пластинки, стрелка компаса и указатель креномера; этим и фиксируются показания всех этих частей прибора, отвечающие тем или иным направлениям струй и мгновенной скорости течения. Опускание муфты может быть выполнено при помощи посыльного груза или путем освобождения задерживающей ее защелки путем дергания особого тросика, скрепленного с рычажком защелки. Прибор уравновешивается яйцеобразным грузом, укрепленным слева (на фиг. 153). При сильном течении внизу может быть подвешен дополнительный груз.



Фиг. 153. Прибор инж. Черенкова.

Все части прибора, исключая алюминиевые пластины, сделаны из меди. Прибор этот применялся на изысканиях на р. Дон.

Для получения осредненных результатов измерения следует повторять несколько раз и брать в расчет среднее из ряда показаний.

Недостатком этого прибора можно считать то, что его нужно для каждого измерения вынимать из воды.

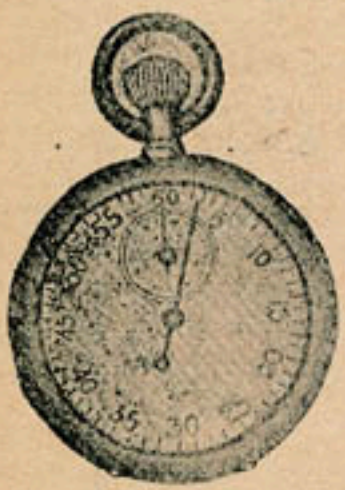
6. Наиболее удобными и надежными для практической работы из описанных типов приборов для измерения направления струй можно считать: 1) вертушки типа «Потомак»; 2) бифилярные подвесы.

§ 72. Принадлежности оборудования вертушек

Для работы с вертушками необходимо иметь ряд принадлежностей оборудования вертушек.

Кроме штанги для штанговой вертушки (или троса с лебедкой и оттяжными тросами и грузов для тросовой вертушки) необходимы для принятых в настоящее время электрических вертушек, при измерениях на малых реках: 1) секундомер; 2) батарея; 3) трос и кабель электрический; 4) звонок или телефон.

При измерениях на больших реках для штанговых вертушек необходимы еще приспособления для поддерживания штанг: 1) штангодержатели; 2) лебедки; 3) оттяжные тросы. Для тросовых вертушек весьма желательны, особенно при работах со специальными целями, более сложные приспособления, к каковым можно отнести: 1) автоматический счетчик оборотов; 2) распределительную доску; 3) хронограф и др. Кроме перечисленного оборудования необходим еще ряд принадлежностей: 1) небольшие щипцы-плоскогубцы; 2) отвертки; 3) небольшой напильник; 4) молоток и материалы: изоляционная лента, гвозди, смазочное масло.

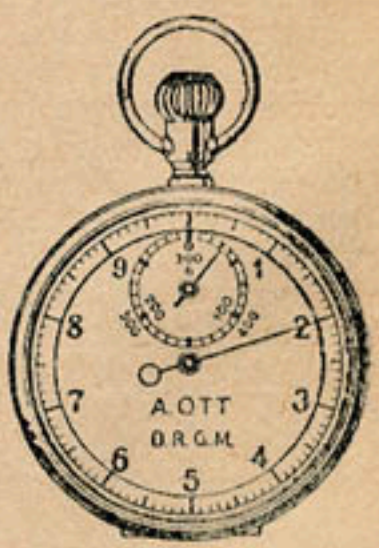


Фиг. 154. Секундомер обычный.

1. Секундомер имеет вид карманных часов с большой секундной стрелкой. Циферблат снабжен делениями от 0 до 60 сек. через 0,2 сек. Минуты отсчитываются по дополнительному малому, разделенному на 30 мин., циферблату. Если нажать на кнопку секундомера — головку для завода его, то секундная стрелка приходит в движение; второе нажатие на эту кнопку останавливает стрелку и третье — возвращает ее на нуль. Этот прибор дает возможность определять время с точностью до 0,1 сек. (фиг. 154).

Весьма удобны для пользования секундомеры с двумя большими стрелками; одну из этих стрелок можно останавливать в конце каждого промежуточного сигнала; когда отсчет этот сделан, стрелку отпускают, и она догоняет непрерывно идущую вторую стрелку; этот секундомер, таким образом, позволяет фиксировать не только начало и конец всего цикла наблюдений, но и отдельные промежуточные отсчеты, что важно для уяснения характера равномерности работы вертушки.

Фирмой Отта выпущены очень удобные секундомеры с делениями в 0,1 сек., регистрирующие малой стрелкой десятки и сотни секунд (а не минуты), а большой — единицы секунд. Циферблат такого секундомера разделен на 10 сек.; на малом дополнительном циферблате имеется шкала для десятков секунд, всего до 300 сек. (фиг. 155).



Фиг. 155. Секундомер на 300 сек.

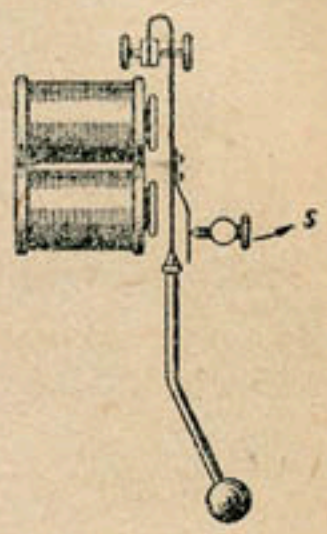
Секундомеры следует время от времени поверять. На каждый секундомер должен быть заведен паспорт, в котором должны регистрироваться все его поверки, а также повреждения и ремонты.

2. Батарея состоит из сухих или полусухих наливных элементов. Элементы соединяются последовательно, т. е. уголь одного соединяется с цинком другого; обычно при коротких проводах достаточно брать или один сухой элемент или два наливных. Следует обращать внимание, чтобы не было соединения между зажимами одного и того же элемента. Истощенный элемент не следует ставить в работу вместе с исправным, так как вследствие большого сопротивления внутри плохого элемента слабеет ток хорошего элемента. Исправность элементов может быть проверена при помощи вольтметра или проще путем присоединения их к звонку, по силе звуков последнего. Окисленные концы соединительных проводов следует очищать ножом или наждачной бумагой.

3. Трос и кабель. Трос, на котором вертушку опускают в воду, должен быть достаточной прочности, быть возможно тоньше для уменьшения угона его течением (желателен диаметр в 2—3 *мм*). Кроме того, он должен быть гибким и не поддаваться ржавлению (оцинкованный или из фосфористой бронзы).

Вертушечный трос обычно изготовляется в виде троса-кабеля, т. е. стального оцинкованного троса, сплетенного с изолированным медным проводом. Такой кабель-трос называется о д н о ж и л ь н ы м. Диаметр его около 3,5 *мм*, допускаемая нагрузка до 250 *кг*. Чаще применяется двойной кабель-трос, т. е. состоящий из двух изолированных одна от другой жил, включающих каждая по 5—7 тонких проволочек; обе жилы соединены в одной общей изолировке из плетения, резины и гудрона.

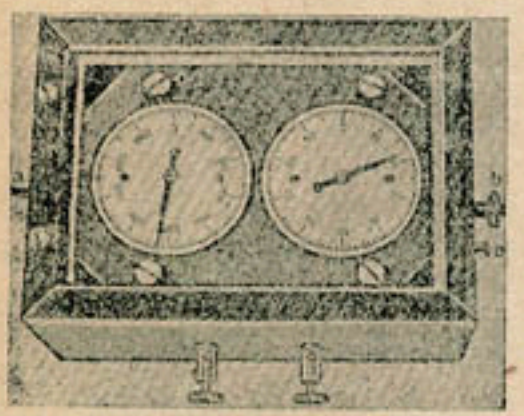
Затем применяются также —для тросовых вертушек — четырехпроводные кабели-тросы, играющие одновременно роль и поддерживающих вертушку тросов. Диаметр их обычно около 7,5 *мм*, а допускаемая нагрузка до 500 *кг*; по четырехпроводному кабелю можно одновременно включить 1-контактный и для контроля 25-контактный счетные механизмы; недостатком четырехпроводного кабеля является его значительный диаметр, вследствие чего иногда наблюдается довольно значительный угон кабеля, а также его трудно ремонтировать в случае порчи.



Фиг. 156. Контактный винт на звонке.

Иногда применяют трос без провода в нем; в этом случае необходим отдельный кабель. Во избежание относа водой кабель в этом случае полезно прихватывать к тросу в нескольких местах бечевкой. Кабель должен быть по возможности малого диаметра, гибок и хорошо изолирован вулканизированной резиной.

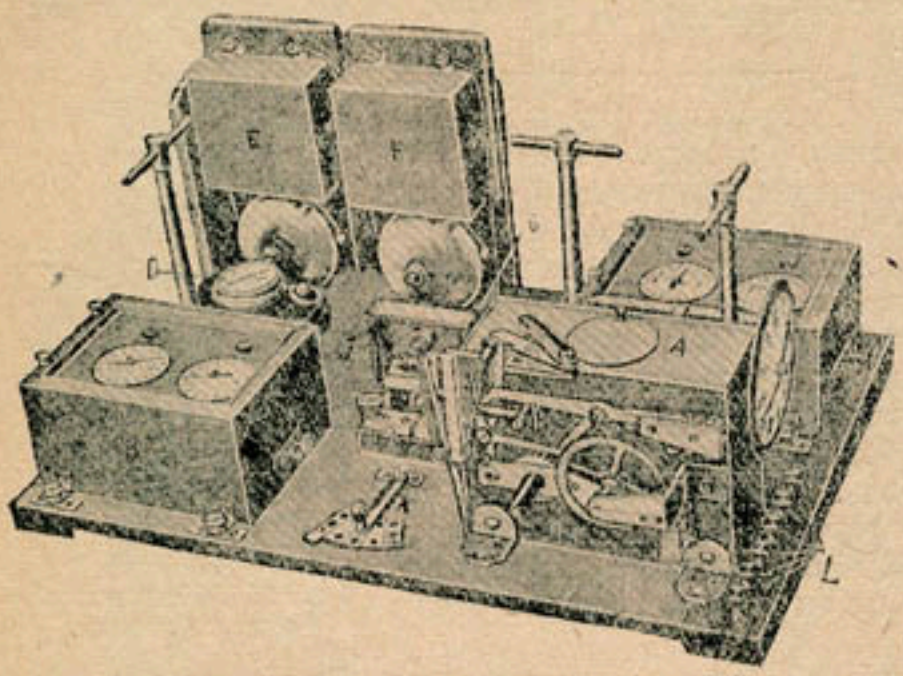
Каждый кабель перед работой должен быть проверен. Для этого в одном конце кабеля приключают одну жилу к зажиму батареи и вторую к звонку, соединив отдельным коротким проводом свободный полюс батареи со свободной клеммой звонка, а в другом конце кабеля, предназначенном к включению в зажимы вертушки, соединяют обе жилы между собой; при соприкосновении концов должен раздаться звонок, а при разъединении таковой должен моментально прекращаться. Если же этого не происходит, то одна из жил разорвана; чаще всего это случается в том месте, где начинается изоляция кабеля. Если при испытании кабеля раздается звонок без соединения свободных концов его, то где-нибудь внутри кабеля есть контакт, и в таком случае кабель совершенно негоден. Всякие повреждения в изолировке кабеля необходимо немедленно же исправлять, применяя для этого изоляционную ленту.


Фиг. 157. Счетчик оборотов.

4. З в о н о к перед всякой работой должен быть также проверен. При слабом звуке звонка нужно обратить на это внимание и произвести соответствующее исправление. Если все зажимы и соединительные проволоки целы и не окислились (при окислении их нужно оскоблить ножом), то причиной отказа звонка в работе может быть или повреждение обмотки электромагнитов, что при осторожном обращении случается очень редко, или не в порядке контакт пружины, или же, что случается очень часто, отошел контактный винт *s* (фиг. 156). Подвинчивая этот винт, регулируют силу звука. При работе звонка нужно обращать внимание на то, чтобы положение его во время работы было всегда одно и то же — или вертикальное висячее или лежачее, так как вес звонкового якоря по сравнению с его пружиной довольно велик и, регулируя винтом *s*, можно до известной степени локализировать влияние веса якоря.

5. Т е л е ф о н. Вместо звонка для сигнализации удобно пользоваться также телефонами, которые включаются в цепь, подобно звонку, последовательно. Не требуя регулировки, телефоны могут работать при более слабом токе (от одного элемента, начиная от 0,5 *в*); это особенно важно при работе с вертушкой с открытым контактом, быстро окисляющимся от сильного тока. Телефоны лучше

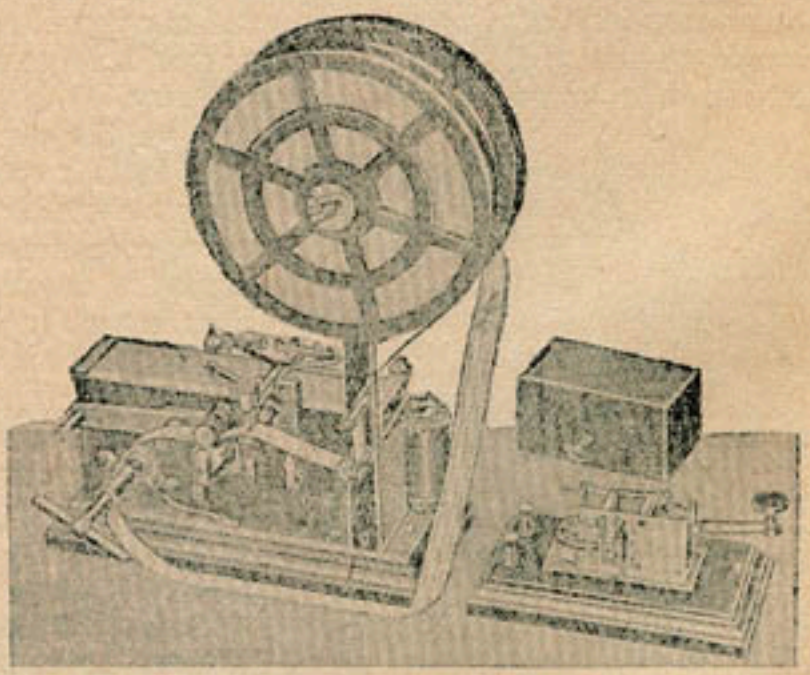
выдерживают перевозку, работают без отказа и портятся крайне редко. Исправность телефона испытывается путем присоединения его к батарее; на исправность телефона укажет треск при царапании ножом или каким-либо металлическим предметом конца его проводника у зажимов батареи. Телефон не следует подвергать ударам и сотрясениям, отчего полюса его электромагнитов могут размагнититься.



Фиг. 158. Распределительная доска Отта.

6. Счетчик электрический имеет следующий принцип действия: при замыкании и размыкании электрического тока имеющиеся в счетчике электромагнитные катушки притягивают особую собачку, как это имеет место в вертушке Отта для определения направления течения, описанной уже выше (§ 71). Путем ряда передаточных колесиков стрелки на двух циферблатах отмечают—на одном циферблате каждый оборот и десятки оборотов, а на другом — каждые сто оборотов (фиг. 157).

На практике оказалось, что большинство существующих счетчиков не всегда удовлетворяет своему назначению; благодаря нежному механизму они быстро портятся, а также пропускают обороты при ослаблении действия батареи. Поэтому счетчик рекомендуется периодически проверять и наряду с ним иметь сигнализацию при помощи обыкновенного звонка или телефона. Счетчики также отказываются работать, если вращение лопастей вертушки настолько быстро, что продолжительность контакта составляет меньше $^1/_{80}$—$^1/_{90}$ сек. Новейшие конструкции счетчиков лучших заграничных фирм свободны от указанных недостатков.



Фиг. 159. Хронограф.

Кроме счетчика электрического применяют еще счетчики механические. Удобен ручной счетчик-нумератор в форме карманных часов. При нажатии на кнопку такого счетчика (что делается одновременно с сигналом о контактах) в окошечке его появляется порядковое число.

7. Распределительная доска имеет целью объединить включение и выключение отдельных составных частей сигнализационной электрической цепи, а также элементов. К этой доске подводят провода, идущие от вертушки, причем благодаря устройству ряда переключателей на доске, можно переключать показание оборотов вертушки или на счетчик или на звонок, а также включать

показание 1-контактных и 25-контактных контактов. В продаже имеются готовые распределительные доски; можно изготовлять их и домашним способом. Фирма Отта изготовляет распределительные доски, на которых помещаются (фиг. 158): *A* — часы для автоматического выключения тока через 100 или 200 сек.; *B* — счетчик оборотов; *C* — счетчик для указания глубин погружения вертушки; *D* — реле для автоматической остановки обоих счетчиков по сигналу донного контакта и для включения звонка; *E* — звонок для сигналов через 25 оборотов вертушки; *F* — звонок для донного контакта; *G* — гудок (зуммер), дающий сигнал об истечении 100 или 200 сек. после начала работы вертушки; *I* — миллиамперметр со штепсельными гнездами для включения в любую цепь; *K* — выключатель батареи и иные переключатели; *L* — зажимы для проводов.

8. Ящик с элементами и звонком. При отсутствии распределительной доски удобно устраивать особый небольшой ящик, в котором помещают батарею из двух полусухих элементов и звонок; зажимные клеммы удобно выводить наружу ящика так, чтобы при работе открывать его лишь в случае необходимости регулирования звонка; для последней цели скрепление звонка с ящиком удобно делать не глухое, а допускающее простое разъединение и выемку звонка из ящика, например, путем выдвигания его из специально устроенных удерживающих вертикальных рамок.

9. Хронограф. Весьма удобным прибором для регистрации числа оборотов и времени является хронограф (фиг. 159).

Прибор этот записывает на бумажной ленте, подобной телеграфной, время секундных интервалов при помощи контактных часов, затем обороты лопастей вертушки и, наконец, может записывать при помощи имеющегося обычно третьего пера — путь, проходимый вертушкой, что применяется при тарировках вертушки (см. § 74). Запись эта осуществляется перьями, которые чертят на ленте продольные линии, прерываемые скачками при замыкании и размыкании тока в соответствующий каждому перу цепи момент, благодаря действию электромагнитов; например, перо, регистрирующее время, дает скачки каждую секунду благодаря действию часового механизма; другое перо — скачки, отвечающие числу оборотов вертушки, в соответствии с действием ее контактного механизма. По такой записи на ленте нетрудно подсчитать соответствующее число секунд и оборотов вертушки. Особенно удобен хронограф для записи явления пульсации и при тарировке. Фирмой Отта выпускаются хронографы с числом перьев до 36; такие хронографы применяют для записей при одновременной работе нескольких вертушек.

§ 73. Содержание вертушек с принадлежностями и поверка их

1. Вертушка — чувствительный ко всякого рода повреждениям инструмент и требует как внимательного к себе отношения, так и периодических поверок. На каждую вертушку должен быть заведен паспорт, где должны регистрироваться все ее повреждения, ремонты и тарировки.

2. Особо бережного отношения к себе требуют лопасти вертушки; от их повреждения или изгиба коэфициент тарировки вертушки меняется, и вертушка дает не те результаты, которые от нее ожидаются. Поэтому рекомендуется после каждой тарировки вертушки изготовлять с ее лопастей гипсовый слепок (фиг. 160) в виде футляра из двух створок, между которыми лопасти должны укладываться вполне плотно. Если в дальнейшем, при укладывании лопастей в футляр, створки смыкаются, то лопасти исправны; в противном случае нужно выполнить новую тарировку.

3. После каждой работы вертушку необходимо тщательно осматривать и тщательно очищать все части, имея в виду, что как бы ни была чиста вода в реке, все же на частях вертушки может образоваться осадок. Если при поворачивании оси вертушки чувствуется хотя бы легкое заедание или скрип, то, очевидно, подшипник засорен и необходимо произвести разборку и очистку подшипника. При очистке следует применять чистый бензин, а для просушки — также хорошо отфильтрованный денатурированный спирт.

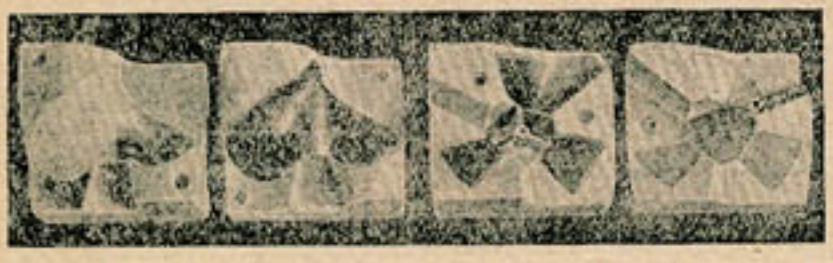
4. Разбирать вертушку следует при помощи отвертки и плоскогубцев на столе, чтобы не потерять мелких винтиков или шариков из подшипников. Число шариков в вертушке должно всегда оставаться неизменным и быть полным; полному числу шариков в подшипнике соответствует такое число, при котором между всеми уложенными рядом шариками остается промежуток, равный приблизительно месту 1 шарика. Шарики следует тщательно протирать и слегка смазывать жидким маслом, костяным или вазелиновым (но не растительным); при сборке шарики вытираются досуха, если вертушку предполагается в ближайшем будущем пустить в работу, или оставляются слегка смазанными, если вертушка кладется на длительный период на хранение.

Если вертушка имеет смазку, то перед работой следует промыть эту смазку бензином. Если при разборке вертушки будут утеряны один или несколько шариков, ни в коем случае нельзя их заменять шариками иного типа.

Следует иметь в виду при сборке вертушки, что степень завинчивания шайбы, зажимающей шарики, обычно отмечается чертой на ней.

5. В вертушках с масляной контактной камерой нужно следить за тем, чтобы камера всегда была заполнена не проводящим электрического тока жидким минеральным маслом.

В вертушках с пружинными контактами особое внимание следует уделять очистке язычков пружины и контактного штифта путем их тщательной протирки и даже осторожного оскабливания возможного осадка на них кончиком перочинного ножа или тонкой наждачной бумагой. Могут также окисляться подшипники колеса выключателя; в этом случае подшипники вертушки должны быть вычищены и слегка смазаны.



Фиг. 160. Гипсовые слепки с лопастей.

В вертушках типа Прайса не следует забывать выключать ее ось после работы — путем поворота муфты внизу оси.

6. При работе зимой, если по вынутии вертушки из воды ее долго оставлять на воздухе, она может покрыться ледяным наслоением; ни в коем случае нельзя это наслоение льда удалять механическим путем: обледенение исчезнет после опускания вертушки в воду и некоторого пребывания ее там.

7. Перед работой, убедившись в исправности батареи, звонка, кабеля и др. (§ 72), следует испытать исправность действия вертушки; для этого производят все нужные соединения сигнализационной сети и приводят крылья вертушки во вращение рукой: если звонок запаздывает или получается с перерывами, проверяют все соединения, а затем и внутреннее состояние контактных устройств вертушки.

8. Как и для всякого точного инструмента, по отношению к вертушке нужно иметь в виду необходимость тщательного хранения ее; должна быть полная гарантия также в том, что прибор не будет трогать никто кроме лиц, которым поручена работа с вертушкой.

9. Бывают случаи, когда во время самого производства работ или непосредственно перед приступом к работе вертушка испытывает какое-либо повреждение, прямо не мешающее ее работе, но могущее изменить коэфициенты ее тарировки.

В этом случае этот факт должен быть записан, и вертушка может быть протарирована уже после окончания работы с тем, чтобы вновь полученные результаты тарировки после повреждения были приняты во внимание для вычислений по работе, проделанной с этим повреждением.

10. Независимо от того, требуется ли ремонт вертушки или нет, после определенного количества измерений вертушка должна быть перетарирована. Допускаемое количество расходов на вертушку от тарировки до тарировки зависит от условий работы (скорости, мутности) и от типа вертушки и колеблется

в пределах от 20 до 50 расходов при примерно 300—400 измерениях в отдельных точках.

11. Само собой понятно, что лицо, работающее с вертушкой, должно хорошо знать и понимать устройство и взаимодействие всех частей ее.

12. Поверка исправности электрической цепи вертушки — звонка (или телефона), батареи и проводов — рассматривались в § 72.

13. Секундомер необходимо выверять систематически у хорошего часового мастера или путем сверки его с заведомо исправным экземпляром. Неисправный секундомер может послужить причиной совершенно неверных выводов, на что, к сожалению, не всегда обращается должное внимание.

14. Счетчики числа оборотов время от времени выверяются на выборку путем одновременной сверки их работы при помощи арифмометра или счетов.

15. Спусковой трос вертушки перед перерывом и в конце работ должен быть высушен и смазан, для чего трос следует пропускать через сухую паклю в одной руке и через паклю с маслом — в другой. Трос не должен иметь загибов, оборванных проволок и т. п. и должен лежать на барабане равномерными слоями.

16. Штанги имеют наиболее слабые места в их концах, в местах соединения отдельных колен; винтовая нарезка здесь всегда должна быть в порядке. При хранении штанги должны быть смазаны как снаружи, так и внутри.

17. Лебедки должны быть всегда смазаны во всех их трущихся частях. Перед работой должно проверяться их действие, и в особенности действие счетчика глубин.

ГЛАВА XIII

ТАРИРОВКА ВЕРТУШЕК

§ 74. Сущность тарировки

1. Под тарировкой вертушки (как и других приборов для измерения скоростей) разумеют нахождение зависимости между числом оборотов вертушки в 1 сек. и скоростью течения.

Распространенные способы тарировки обосновываются на принципе обратимости явления. В процессе измерения скоростей течения вертушка стоит на одном месте, и вращение ее лопастей обусловливается движением воды. Согласно отмеченному принципу можно предположить, что если взять бассейн со стоячей водой, но заставить в нем двигаться вертушку, то получаемые соотношения между скоростью движения вертушки и скоростью вращения ее лопастей будут отвечать тем, какие имеют место при стоянии вертушки на одном месте, но при наличии течения.

Таким образом тарировка вертушек может быть осуществлена путем последовательных передвижений вертушки в стоячей воде при разных скоростях этих передвижений.

Следует отметить, что принцип обратимости явления, отмеченный выше, практически верен лишь до известных пределов; в естественных потоках вертушка подвержена действию пульсирующего турбулентного движения, при тарировке же вертушку передвигают прямолинейно и равномерно; поэтому для случаев особо резко выраженной турбулентности потока соотношения, получаемые путем тарировки вертушек в стоячем водоеме (в тарировочном бассейне), могут отличаться от действительных соотношений довольно существенно.

Это обстоятельство необходимо иметь в виду при организации измерений скоростей: правильных результатов от работы вертушки можно ожидать лишь при более или менее слабо выраженной турбулентности течения.

В связи с этим вопросом интересные исследования были произведены в последнее время швейцарцем инж. Штриклером, американцами Ярнелом и Наглером и др. Инж. Штриклер рекомендует для учета специфических условий работы вертушки в турбулентном потоке производить тарировку не только так, как обычно, но, кроме того, еще при таких четырех положениях оси вертушки: под углом

в 5° влево и вправо, вверх и вниз, от оси канала, а коэфициенты тарировки вычислять как средние из таких пяти тарировок. По исследованиям Ярнела и Наглера можно ожидать, что в сильно турбулентном течении для вертушек с горизонтальной осью вероятны преуменьшенные скорости и для вертушек с вертикальной осью — преувеличенные; величины расходимости возрастают по мере увеличения углов между осью вертушки и направлением струй; при углах отклонений до 10° ошибки не превосходят 5%, при углах же в 45° ошибки могут доходить до 50% и выше. Нужно отметить, что явления турбулентности указанными опытами целиком не характеризуются, как гораздо более сложные и отнюдь не исчерпывающиеся только лишь той или иной косиной струй.

2. Процесс тарировки в стоячих водоемах сводится к нахождению различных значений таких характеристик: 1) скорости передвижения вертушки v и 2) скорости вращения лопастей ее в секунду n.

Значения v находятся путем определения значений длины проходимого пути S и времени, в течение коего этот путь проходится — t_1 сек.:

$$v = \frac{S}{t_1} \text{ м/сек.} \tag{60}$$

Значения n определяются измерением числа оборотов N, сделанных лопастями вертушки за время t_2:

$$n = \frac{N}{t_2} \text{ об/сек.} \tag{61}$$

Таким образом в процессе тарировки следует организовать наблюдения и регистрацию таких четырех величин: 1) S — путь; 2) t_1 — время, отвечающее прохождению этого пути; 3) N — число оборотов лопастей на всем пути S или на некоторой его части (при условии равномерного движения вертушки на всем пути S); 4) t_2 — время, отвечающее числу оборотов N.

В более простом случае, к которому обычно стараются свести процесс тарировки, достаточно наблюдать и регистрировать взаимно связанные: 1) S; 2) t и 3) N, причем $t = t_1 = t_2$.

3. Вертушки обычно выпускаются изготовляющими их фирмами с готовыми кривыми или уравнениями тарировки. Даже вертушки одного типа и размера обычно имеют различные кривые тарировки, так как невозможно при их изготовлении обеспечить совершенно точно одинаковое трение и условия работы. С течением времени эти обстоятельства меняются, почему даже при отсутствии видимых повреждений тарировка вертушки должна повторяться не реже чем один раз в год (§ 73) или точнее после каждых 300—400 измерений (в отдельных точках), ибо, как во всяком чувствительном инструменте, первоначально выведенные соотношения между v и n от длительной работы могут изменяться.

4. Можно отметить стремление некоторых иностранных фирм при стандартизации изготовляемых типов вертушек к стандартизации кривых тарировки; так, американская фирма Герлей (Gurley) для всех однотипных, изготовляемых ею, вертушек Прайса дает печатную таблицу тарировки, составленную, повидимому, серийной выборочной тарировкой; эти стандартные кривые тарировки по данным фирмы могут давать отклонения от действительности порядка только лишь 1%.

Понятно, что независимо от длительности нахождения вертушки в работе тарировка ее должна возобновляться после каждого повреждения, в особенности после повреждений лопастей вертушки.

5. Процесс тарировки вертушек может осуществляться трояким путем:

а) на особых тарировочных станциях, оборудованных специальными тарировочными бассейнами;

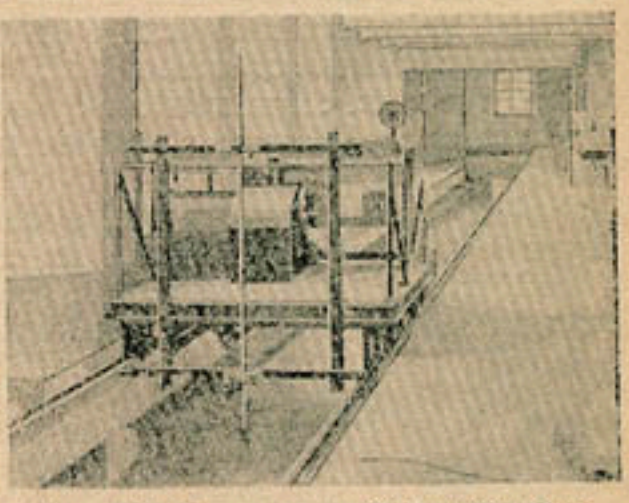
б) в полевой обстановке, на естественных стоячих водоемах;

в) на естественных водотоках, путем сравнивания работы тарируемой вертушки с другой вертушкой, тарировка коей известна; этот процесс получил название эталонирования.

§ 75. Тарировочные бассейны

Можно различать два типа тарировочных бассейнов: 1) прямолинейные, с прямолинейным передвижением вертушек и 2) круговые, с передвижением вертушки по кругу.

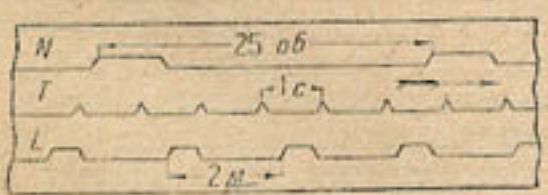
1. Общий вид прямолинейного тарировочного бассейна показан на фиг. 161 (бассейн фирмы Отта в Кемптене). Здесь канал имеет длину в 47 *м* при поперечном сечении в 1,5 × 1,5 *м*. По краям канала проложены рельсы, по которым движется тарировочная тележка. Около рельсов, с краю канала, помещены через каждые 5 *м* контактные пластинки; пружинный контактный рычаг, закрепленный на тележке, скользит при ее движении по линии этих контактных пластинок.



Фиг. 161. Тарировочный бассейн Отта.

Оборудованием тележки обычно служит следующее: 1) зажимное приспособление для закрепления штанги или троса (для тросовых вертушек); 2) столик с хронографом, снабженным тремя перьями: одно —для записи секунд, другое — для записи оборотов крыльев вертушки, третье —для записи контактов, регистрирующих длину проходимого пути; 3) упомянутый выше пружинный контактный рычаг; 4) мотор, приводящий тележку в движение; 5) соединительный контакт, передвигающийся по проложенному рядом проводу, подающему ток, питающий мотор тележки; 6) реостат; 7) аккумуляторная батарея для питания механизма хронографа; 8) ручной тормоз. По такому типу устроено большинство прямолинейных тарировочных бассейнов за границей, а также несколько бассейнов в СССР.

Число поездок с вертушкой должно быть достаточным для того, чтобы подробно исследовать работу вертушки в пределах всех скоростей, встречающихся на практике; обычно это число равно 20—30 поездкам. В результате наблюдений для каждой поездки получаются 3 величины: 1) число оборотов вертушки N; 2) длина пути L; 3) время T, отвечающее величинам N и L. Фиг. 162 дает образец записи, получаемой на ленте хронографа —для N, T и L.



Фиг. 162. Запись ленты хронографа.

Для надлежащего выполнения тарировки как бассейны, так и самый процесс тарировки должны удовлетворять ряду условий. На основании опытов ряда исследователей установлено, что особое внимание необходимо обращать на следующие обстоятельства:

1) рельсовый путь для тарировочной тележки должен быть уложен возможно тщательнее, дабы избежать каких-либо толчков;

2) штанга тарируемой вертушки должна быть такого диаметра и с такой свободной длиной, чтобы не имели место изгибы штанги при больших скоростях; если вертушка тросовая, то тарировать ее следует на тросовом закреплении; универсальная вертушка должна быть протарирована и на тросе и на штанге, ибо результаты тарировки в этих двух случаях могут различаться на практически ощутимые величины;

3) весьма тщательно следует наблюдать за тем, чтобы ось вертушки была точно установлена по направлению движения;

4) следует перед каждым новым пробегом выжидать окончательного успокоения воды в канале;

5) в расчет принимать только те пробеги, где по ленте хронографа констатируется полная равномерность движения.

На результаты тарировки оказывают также влияние размеры тарировочных каналов.

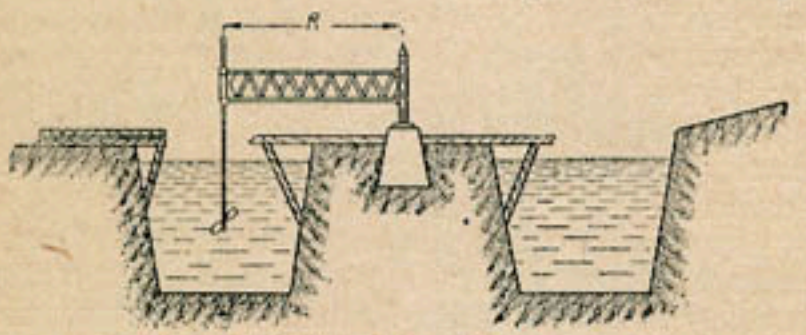
В отношении их длины Берлинская тарировочная станция в результате многолетней своей практики установила, что для тарирования вертушек является вполне достаточной длина в 50 *м*, каковой эта станция и пользуется, несмотря на то, что общая длина канала равна 150 *м*.

Поперечные размеры тарировочного канала играют значительную роль в результатах тарировки; существенных для практики ошибок в тарировке можно ожидать лишь при ширине канала меньшей 0,7 *м*.

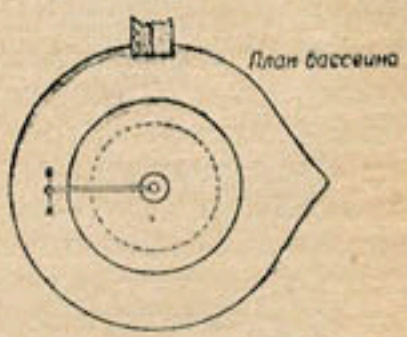
Связь между шириной канала и результатами тарировки объясняется тем, что при движении вертушки в недостаточно широком канале на ее вращение оказывают влияние стенки канала, вызывающие дополнительные вихри сопротивлений в струях. Ленинградский тарировочный канал при опытном бассейне Морского комиссариата имеет поперечные размеры: ширина 6,7 *м*, глубина 3 *м* при длине в 120 *м*.

Что касается глубины погружения вертушки при тарировке, то ее обычно берут от 0,30 до 1 *м* (Берлинская станция), считая от поверхности воды.

Как показывают новейшие исследования, на результаты тарировки могут оказывать влияние не только ширина канала тарировки, но и различные особен-



Фиг. 163. Бассейн в Ташкенте.



Фиг. 163а. План бассейна в Ташкенте.

ности в самом процессе производства тарировки. Так, сравнение тарировок для одной и той же вертушки, выполненных в шести различных хорошо оборудованных тарировочных бассейнах различных городов Европы, показало возможность расхождений порядка 1—2%, а для скоростей менее 0,5 *м/сек* даже порядка 4—6%.

2. Бассейны с круговым движением (фиг. 163 и 163а) вертушек отличаются более простым оборудованием; результаты их работ считаются менее точными, так как при продолжительном тарировании вода в них может начать двигаться вслед за штангой; кроме того, в таких каналах невозможно тарировать тросовые вертушки, так как развивающаяся центробежная сила выбрасывает их в сторону.

На фиг. 163 и 163а даны разрез и план Ташкентского круглого бассейна. Пруду придана слегка продолговатая форма для уменьшения при тарировке кругового движения воды.

3. В СССР кроме упомянутого уже тарировочного бассейна: 1) Морского комиссариата в Ленинграде (канал Круштейна, № 2) имеются еще тарировочные станции; 2) в Ленинграде — при Государственном гидрологическом институте (Васильевский остров, 2-я линия, д. 23); 3) в Москве — при Тимирязевской сельскохозяйственной академии (Петровско-Разумовское), продольный, длиной около 45 *м* и шириной в 1,0 *м*; 4) на Кучинской гидрологической станции — при ст. Кучино, Московско-Нижегородской железной дороги; 5) в Одессе — при Гидравлической лаборатории Политехнического института; 6) в Тетюшах — на Волге (сведений о работе этой станции в настоящее время не имеется); 7) на Кавказе — в Тбилиси; 8) в Таджикистане — в Ташкенте и др.

Тарировочный бассейн Государственного гидрологического института имеет оригинальную конструкцию, приспособленную для тарирования вертушек и батометров по принципу сравнения их с выверенными приборами-эталонами (см дальше, конец § 77).

4. При отправке вертушек в тарировку (по почте или со специальным лицом) следует обязательно указывать:

1) каким способом вертушка должна быть укреплена во время тарировки — на штанге или на тросе;

2) пределы скоростей, до которых должна быть протарирована вертушка;

3) желательный масштаб тарировочной кривой и др.

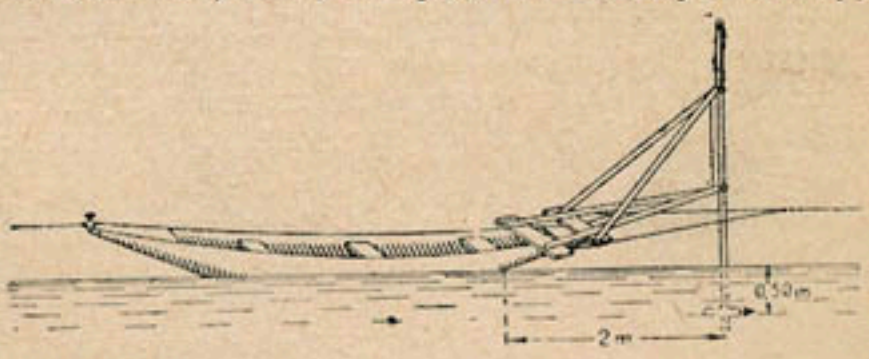
В целях правильной обработки расходов следует учесть, что, если во время работы вертушка получила повреждения, которые, хотя, не вывели ее из строя, но ремонт ее будет неизбежен (например, при погнутии крыльев), то необходимо сделать две тарировки: одну до ремонта, а другую после, о чем также должна быть поставлена в известность тарировочная станция.

Если по ряду условий для тарировки вертушки нельзя воспользоваться тарировочным бассейном, то возможно произвести тарировку более приближенно, но без особого оборудования, в полевой обстановке.

§ 76. Тарировка в полевой обстановке

Для производства тарировки в полевой обстановке необходимо иметь:

1. Оборудование для выбора места и участка, а также для разбивки ходовой линии, т. е.: а) наметку для промеров; б) мерную ленту; в) теодолит или гониометр для разбивки створов и ходовой линии; г) плавучие средства — лодку или оборудованный паром; д) вехи; е) топор.



Фиг. 164. Рама для укрепления вертушки при тарировке.

2. Оборудование для производства тарировки: а) тросы или канаты; б) два ворота или в крайнем случае один; в) метроном для контроля равномерности движения; г) один или лучше два секундомера; д) счетчик оборотов или звонок с элементами; е) журнал тарировки и письменные принадлежности; ж) специально сооруженное приспособление для укрепления вертушки на лодке или пароме.

Личный состав при производстве тарировки распределяется следующим образом: 2 техника (производящий тарировку и его помощник) и 5—6 рабочих (по двое на обоих берегах и один или два на лодке или пароме).

Выполнение работы сводится к следующему:

Выбирают достаточно глубокий тихий пруд, озеро или залив со стоячей чистой водой; далее приспосабливают для перемещения вертушки паром или лодку. В последнем случае на носу лодки устанавливают деревянную раму с косинами и с зажимами для укрепления штанги или с блоком для троса тарируемой вертушки, как, например, показано на фиг. 164.

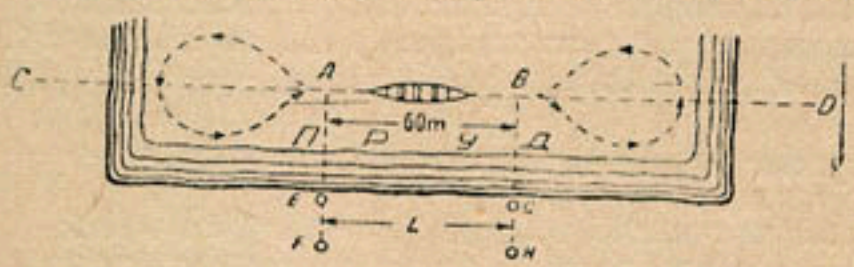
Передвижение лодки с вертушкой можно осуществлять следующими путями: к носу и корме закрепляют два конца тонкого каната; группа рабочих на одном берегу равномерно тянет лодку за канат, уходя от берега, в то время как группа рабочих на другом берегу удерживает движение лодки в прямолинейном направлении за другой конец каната, идя к берегу. Движение рабочих лучше всего регулировать по метроному и начинать от весьма медленного, заканчивая возможно быстрым. Для определения длины пути на берегу, параллельном пути, устанавливается четыре вехи, образующие два параллельных створа EF и CH, как показано на фиг. 165. Тогда расчетной длиной S пути вертушки является все время одна и та же величина — расстояние $L = AB = EC$; наблюдатель, находящийся в лодке, при ходе ее по линии AB визирует проход мимо каждого из створов.

В обоих случаях длина рабочего участка должна быть около 50—70 *м*, да еще некоторые расстояния должны оставаться на разгон лодки (или парома).

Вертушка должна быть погружена в воду на 0,6—0,8 *м* от поверхности.

При тарировке по рассматриваемому способу — при постоянной длине пути — работу ведут следующим образом:

По команде техника лодка (или паром) с установленной вертушкой начинает свое движение с заданной техником скоростью. Равномерность этого движения регулируется по метроному (равномерность движения ворота или равномерность передвижения рабочих в случае отсутствия ворота).

В момент прохождения первого створа техник пускает секундомер, а его помощник со вторым секундомером ожидает после этого первого сигнала контакта вертушки. В конце этого сигнала (при звонковой сигнализации) помощник пускает в ход второй секундомер и начинает считать последующие сигналы. При этом полезно записывать время, отвечающее каждому последующему сигналу, ибо такая запись дает возможность проверить равномерность движения вертушки.

Фиг. 165. Регистрация пути при тарировке.

Первый из техников, далее, останавливает свой секундомер при прохождении второго створа, а второй — при ближайшем к этому моменту сигнале контакта. Выполнив первый заезд, возвращают лодку (или паром) в исходное положение и повторяют заезд снова, но с несколько иной скоростью движения вертушки. Таких заездов необходимо выполнить от 20 до 35 со скоростями, начиная от самой медленной и кончая в 2,5—3 *м/сек*.

Записи удобно делать в журнале по такой форме:

ФОРМА 2

Журнал тарировки

_____(название организации)

Год _____ месяц _____ число _____

Рабочая длина ходовой линии _____

Система вертушки _____ № _____ с контактами через _____ оборотов.

Способ укрепления _____ (на штанге или на тросе).

Тарировку выполняли _____

на _____ (указать место выполнения)

№ заездов	Определение скорости движения вертушки			Определение числа оборотов вертушки в секунду									$n=\frac{N}{t_2}$	Примечания
				Отсчеты по второму секундомеру										
	отсчеты по первому секундомеру	расчетный пройденный путь S в *м*	$v=\frac{S}{t_1}$ *м/сек*	1	2	3	4	5	6	7	8	общее число оборотов N		
1	125″,2	50	0,40	21″	40″	62″	81″	102″	120″	142″	161″	125	0,775	

Отметим, что в полевых условиях может быть также применена тарировка, основанная на сравнении показаний вертушки с данными поплавочных измерений, производимых погружаемыми в воду на 10—12 *см* поплавками. Для этого должен быть выбран правильный участок реки, на котором разбивают три попла-

вочных створа; вертушку последовательно устанавливают (у поверхности воды) на среднем створе в разных точках его, через которые затем пропускают 2—3 поплавка (§ 77).

§ 77. Эталонирование вертушек

Возможным способом выполнения тарировки, особенно в полевой обстановке, является так называемое эталонирование вертушек. Эталонирование заключается в сравнении работы испытываемой вертушки с работой другой — заведомо исправной, являющейся эталоном для тарировки.

В качестве эталонной вертушки может служить лишь специальная вертушка, не пускаемая в обычную работу; тарировку такой вертушки лучше производить в специальных тарировочных бассейнах.

Эталонирование можно производить двояким образом: 1) передвигая обе вертушки — подлежащую тарировке и эталонную — в стоячей или текучей воде; 2) путем последовательного измерения скоростей течения в одних и тех же точках обеими вертушками.

В первом случае необходим моторный катер, обладающий равномерным ходом с разными ступенями скорости его движения. Обе вертушки укрепляются на пароме или лодке так, чтобы между ними было расстояние не менее 1—2 *м* и чтобы обе они были вынесены как можно дальше за носовую часть парома (или лодки) и притом в одной плоскости, совпадающей с направлением движения. Глубины погружения обеих вертушек должны быть одинаковы, примерно 0,50—0,60 *м*.

Буксир между катером и паромом должен быть не менее 50—80 *м* во избежание действия на вертушку возмущений от работы винта катера. Для получения весьма малых скоростей можно применять торможение веслами парома (или катера).

Предварительно намечается подходящий участок для эталонирования; глубины на этом участке должны быть не менее 1,50—2,0 *м*; если стоячего водоема нет, то течение должно быть возможно спокойное. Для осуществления прямолинейности в движении катера на берегу разбивается параллельно или перпендикулярно берегу ходовая линия, закрепляемая створами. Рабочая часть створа на воде может быть отмечена створами или буйками. При производстве тарировки на участках рек с течением направление ходовой линии должно совпадать с направлением течения.

Отряд, производящий работу, должен состоять из двух техников и трех рабочих (один на руле и два — у приборов).

Оборудование отряда такое же, как при тарировке обычным полевым способом (§ 76), исключая ненужных в этом случае метронома и ворота.

Выполнение работ таково. По выполнении всех подготовительных работ по команде техника, руководящего работой, катер пускается в ход и направляется по ходовой линии. После того как катер приобретет равномерность хода и паром достигнет рабочей части ходовой линии, оба техника, каждый одновременно с сигналом контакта своей вертушки (именно по концу его), пускают в ход секундомеры и начинают счет контактов. При подходе парома к концу ходовой линии оба техника останавливают свои секундомеры, каждый в момент окончания сигнала обслуживаемой им вертушки. Далее катер буксирует паром в исходное положение и выполняет затем второй заезд, уже с несколько иной скоростью, и т. д. Всего следует выполнить не менее 20—30 заездов с различными скоростями в нужных пределах. Для контроля равномерности хода катера необходимо производить запись показаний секундомеров, отвечающих отдельным последовательным сигналам.

Журнал для записи результатов наблюдений может иметь форму, приведенную ниже (форма 3).

При эталонировании в поле заполняются графы 1—8 и 11—17, а графы 9, 10 и 18 заполняются после окончания полевых работ. Данные для графы 10 берутся из тарировочной кривой эталонной вертушки.

При эталонировании путем последовательной установки обеих вертушек в одних и тех же точках текущего потока обе вертушки следует выдерживать в од-

ной и той же точке не менее 5 мин. Точки установок меняют так, чтобы захватить возможно большую амплитуду скоростей. Журнал записей остается таким же, что и в предыдущем случае.

ФОРМА 3

Журнал тарировки (эталонирования)

_____(название организации).

Год _____ месяц _____ число _____

Рабочая длина ходовой линии _____

Эталонная вертушка: _____ № _____ с контактами через _____ оборотов.

_____(фирма и тип)

Тарируемая вертушка _____ № _____ с контактами через _____ оборотов.

Способ укрепления обеих вертушек _____(штанга или трос)

№ заездов	Эталонная вертушка						Число оборотов N_1 за все время	Число оборотов в 1 сек. $= n_1$	Скорость v в м/сек	Тарируемая вертушка						Число оборотов N_2	Число оборотов в 1 сек. $= n_2$	Примечания
	отсчеты по секундомеру									отсчеты по секундомеру								
	1	2	3	4	5	6				1	2	3	4	5	6			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
5	18	35	48	66	85	104	50	0,48	0,51	17	33	50	64	83	100	45	0,45	

Обработка данных эталонирования выполняется так же, как и при обычной тарировке в полевой обстановке.

Эталонирование в условиях стационарной установки производится в круговом тарировочном бассейне Государственного гидрологического института (Ленинград). Этот бассейн имеет внутренний диаметр всего 3 *м*; в центре бассейна на круглом фундаменте помещена вращающаяся на шариковом подшипнике карусель, снабженная шестью вертикальными штангами; на штангах может быть закреплено шесть вертушек (или батометров), из коих две являются вертушками-эталонами. При вращении карусели, осуществляемом при помощи мотора и регулирующего реостата, вода в кольцевом пространстве бассейна, имеющем сечение всего лишь $1 \times 1{,}16$ *м*, приходит в довольно быстрое движение; как показали опытные исследования, поскольку тарируемые вертушки и вертушки-эталоны находятся в одинаковых условиях, наблюдаемое перемещение воды на результатах эталонирования практически не сказывается. Записи производятся при помощи специально сконструированного хронографа с 9 перьями. Эталонные вертушки периодически проверяются в бассейне продольного типа (Морского комиссариата).

§ 78. Обработка данных тарировки

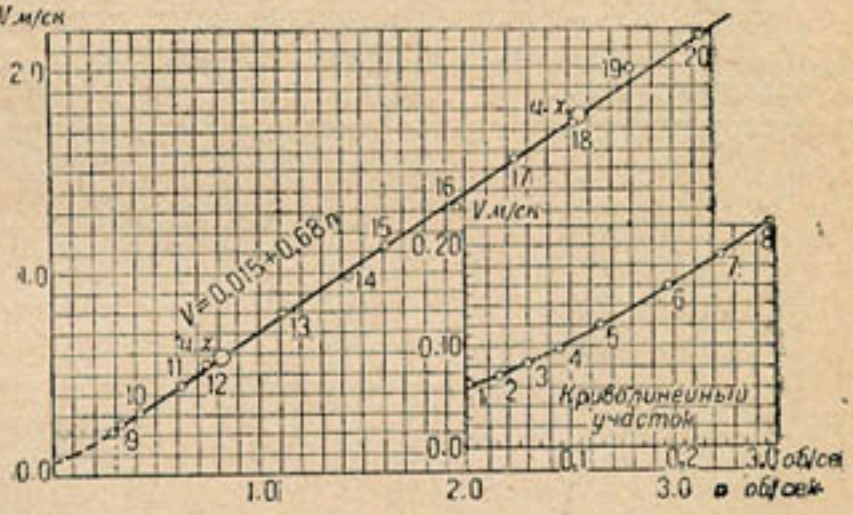
1. В результате тарировки получаются попарно связанные значения v и n, где v — скорость движения вертушки, а n — число ее оборотов в 1 сек. при соответствующей скорости. Обработка этих данных должна дать связь между этими обеими величинами.

Простейший графический способ обработки тарировочных данных сводится к построению графика, связывающего вычисленные по данным тарировки значения v и n, взятые попарно для каждого заезда.

На клетчатой бумаге, взяв скорости v за ординаты, а число оборотов n за абсциссы, наносят ряд точек, соответствующих отдельным парам значений v и n; масштабы для абсцисс и ординат выбираются достаточно большие и притом

так, чтобы общее направление намечающейся кривой было близко к прямой, образующей с осями координат углы в 45°.

Наносимые точки обычно располагаются, следуя определенному закону. Если на графике оказываются точки, сильно отклоняющиеся в сторону от рядом лежащих, то проверяют подсчеты для этих точек, и в случае необнаружения ошибки в подсчетах эти точки отбрасываются как ошибочные. По оставшимся точкам проводится плавная кривая, которая и является графическим выражением зависимости числа оборотов n от скорости v, т. е. уравнения вертушки. Эта кривая позволяет легко интерполировать скорости для любого числа оборотов; для практических целей она является большей частью вполне достаточной. Образец такой тарировочной кривой дан на фиг. 166; при этом для малых скоростей удобно выполнять отдельное построение в увеличенном масштабе.



Фиг. 166. Образец кривой тарировки.

Для современных вертушек кривая тарировки обычно выражается прямой линией, и только при малых скоростях имеется обычно некоторый криволинейный участок. Та скорость, при которой тарировочная линия переходит из кривой в прямую, называется «критической скоростью» вертушки. В хороших вертушках критическая скорость не превышает 0,15—0,20 *м/сек*. Иногда кривизна начального участка может быть настолько мала, что этот участок может быть взят по прямой. В таком случае кривая тарировки изобразится в виде ломаной из двух прямых.

Исследования Эппера и других показали, что иногда кривая тарировки при малых и весьма значительных скоростях может иметь своеобразную форму, не укладывающуюся в теоретические кривые: при малых скоростях это объясняется влиянием инерции крыльев при переходе лопастей из состояния покоя в состояние движения, а при весьма больших скоростях — больше 3 *м/сек* — влиянием образующихся вихрей.

2. При тарировке в полевой обстановке точки могут расположиться не на одной линии, а полосой — в связи с неточностью работы по тарировке в таких условиях.

В этом случае поступают так: отбросив отдельные явно сомнительные точки, резко выпадающие из общего расположения всех остальных точек, подразделяют остальные точки на группы через определенные промежутки по абсциссам или ординатам.

Для каждой из групп находят положение центра тяжести точек, координаты которого определяются как среднее арифметическое координат отдельных точек группы.

Так, например, на фиг. 167 точки *47* и *9* отброшены, как неверные, а остальные разбиты на 7 групп по величине для числа оборотов n в интервалах 1—2, 2—3, 3—4 и т. д.

Тогда, например, для II группы ход вычислений будет такой, как в табл. 15.

Таким образом координаты центра тяжести для II группы (B) определились: $v = 0{,}41$ *м/сек*; $n = 1{,}55$.

Найдя точно таким же способом координаты центров тяжести для остальных групп, через полу-

ТАБЛИЦА 15

№ точек	Скорость v в *м/сек*	Число оборотов n в сек.
23	0,25	1,14
24	0,33	1,20
2	0,32	1,51
25	0,47	1,65
3	0,53	1,82
4	0,56	2,00
Сумма	2,42	9,04
Среднее	0,41	1,55

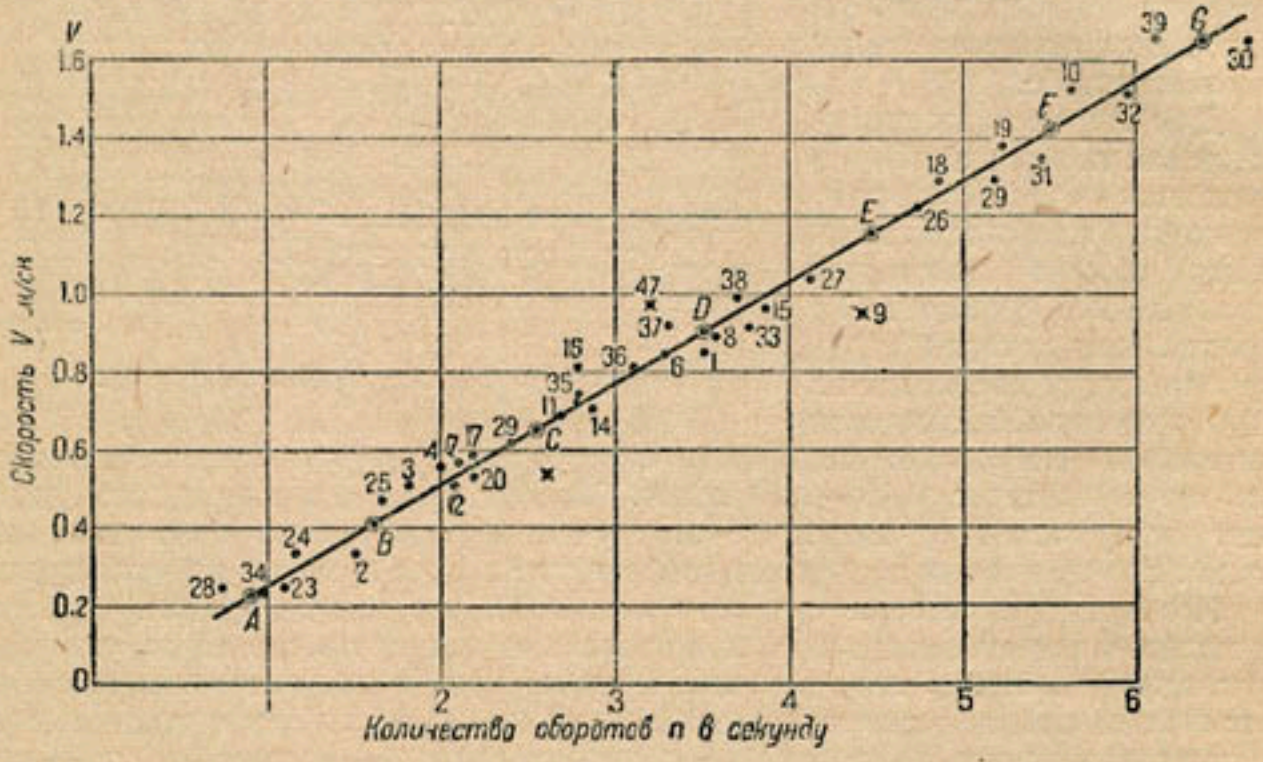
ченные точки A, B, C и т. д. следует провести плавную кривую (или прямую), которая и будет приближенной тарировочной кривой.

3. Наряду с графической обработкой данных тарировки применяются методы аналитические, дающие зависимость между v и n в виде уравнения вертушки.

Самая простая форма уравнения вертушки была дана Вольтманом в виде уравнения прямой линии:

$$v = v_0 + Kn. \tag{62}$$

Здесь K — постоянный коэфициент, которому можно придать по Гарлях-еру такое вещественное значение: в плоских крыльях (лопатках вертушек) K равняется тангенсу угла, составленного параллельными оси вращения лопастей струями потока с плоскостью крыла; в вертушках с винтообразными крыль-



Фиг. 167. Кривая тарировки в полевой обстановке.

ями K обозначает ход винта; в ином представлении K есть цена одного оборота вертушки; геометрически K представляет собой тангенс угла наклона прямой к оси абсцисс.

v_0 — та наименьшая скорость, при которой перестают вращаться лопасти вертушки вследствие сопротивления трения в осях, т. е. наименьшая скорость, которая может быть измерена вертушкой; ее, как указывалось, называют чувствительностью вертушки; правда, при больших скоростях v_0 может иметь величину, равную нулю или даже со знаком минус, в том случае, когда продолжение отрезка прямой пересекает ось ординат ниже нулевой точки; это противоречит для таких случаев обычно принятому, приведенному выше, толкованию значения v_0 и может быть объяснено возникновением, при быстром вращении лопастей, целого ряда дополнительных не механических сопротивлений, возрастающих с усилением скоростей вращения крыльев; геометрически, как сказано, v_0 представляет собой отрезок на оси ординат, отсекаемый данной прямой.

Уравнение (62) при малых скоростях для некоторых систем вертушек дает неудовлетворительные результаты, так как тарировочные кривые этих вертушек обычно имеют в своих нижних концах вид кривых высшего порядка.

Поэтому были предложены в дополнение к приведенному другие уравнения вертушки:

$$v = v_0 + Kn + Cn^2, \tag{63}$$

которое представляет собой уравнение параболы с осью, параллельной оси v, и уравнение Баумгартена:

$$v = an + \sqrt{bn^2 + v_0^2}, \tag{64}$$

представляющее собой гиперболу с действительной осью, параллельной оси v.

Уравнение (64) было преобразовано и представлено Шмидтом в таком виде:

$$v = (1 - \beta) Kn + \sqrt{(\beta \cdot K \cdot n)^2 + v_0^2}. \tag{65}$$

Этому уравнению соответствует гипербола, ассимптота которой $v = Kn$ проходит через начало координат (фиг. 168). Уравнение имеет три постоянных коэфициента — β, K и v_0, причем β колеблется в пределах от нуля до единицы. Предыдущие уравнения прямой линии являются частными случаями уравнения (65). Так имеем при $v_0 = 0$: $v = Kn$;

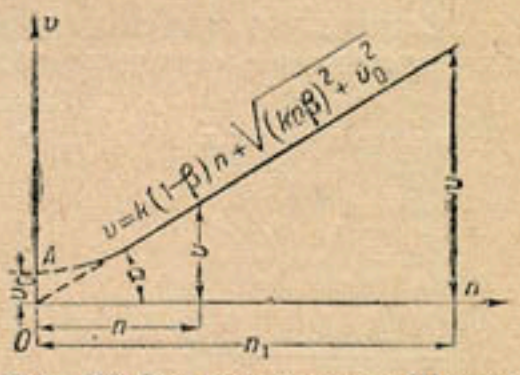
при $\beta = 0$: $v = v_0 + Kn$; при $\beta = 1$: $v = \sqrt{K^2 n^2 + v_0^2}$.

Как видно из фиг. 168, $v_0 = OA$; $K = \operatorname{tg} \alpha$. Для коэфициента β Шмидт дает такую приближенную эмпирическую формулу в зависимости от v_0:

$$\beta = -0{,}115 + 9{,}2 v_0, \tag{66}$$

которая применима лишь в пределах

$$0{,}0125 < v_0 < 0{,}121 \ м/сек. \tag{67}$$



Фиг. 168. Схема к уравнению Шмидта.

4. Обычно для вычисления уравнений вертушек применяют упрощенные схемы: или всю кривую заменяют рядом отрезков прямых, наметив предварительно возможные точки их перелома на чертеже, и вычисляют уравнение каждого из участков по формуле (62), или же, оставляя уравнения прямых для более значительных скоростей, для малых составляют уравнение типа (63) или (64).

Наконец, применим такой прием: вычисляют уравнение только для прямолинейной кривой тарировки, а криволинейную часть изображают графически в увеличенном масштабе и ограничиваются этим последним (фиг. 166). Этот прием мы считаем наиболее рациональным.

5. Вычисление коэфициентов уравнений вида (62) можно вести следующим образом:

а) Уравнение отрезка $v = v_0 + Kn$ можно вычислять по способу неопределенных коэфициентов Безу (принятому в Австрийском гидрографическом бюро), который состоит в следующем: с графически построенной кривой (прямого участка) берут 4 каких-либо точки, охватывающих весь взятый участок; тогда имеем: v_1, v_2, v_3 и v_4 и соответственно: n_1, n_2, n_3 и n_4, по которым можно составить 4 уравнения:

$$v_1 = v_0 + Kn_1; \quad v_3 = v_0 + Kn_3;$$
$$v_2 = v_0 + Kn_2; \quad v_4 = v_0 + Kn_4.$$

Составляя суммы:

$$v_1 + v_2 = 2v_0 + K(n_1 + n_2),$$
$$v_3 + v_4 = 2v_0 + K(n_3 + n_4)$$

и вычитая вторую сумму из первой, получаем

$$(v_1 + v_2) - (v_3 + v_4) = K(n_1 + n_2) - K(n_3 + n_4),$$

откуда

$$K = \frac{(v_1 + v_2) - (v_3 + v_4)}{(n_1 + n_2) - (n_3 + n_4)}. \tag{68}$$

Точно так же находится выражение для v_0:

$$v_0 = \frac{(v_3 + v_4)(n_1 + n_2) - (v_1 + v_2)(n_3 + n_4)}{2 \cdot [(n_1 + n_2) - (n_3 + n_4)]}. \tag{69}$$

В случае наличия двух участков прямых точно так же по формулам (68) и (69) находится уравнение и для второго участка; точка перелома между ними определится из уравнения $v_0' + K_1 n_s = v_0'' + K_2 n_s = v_s$, откуда

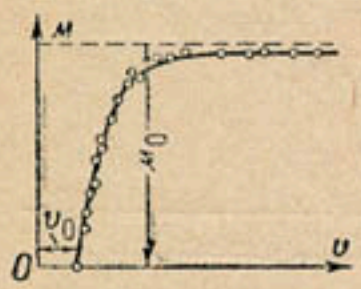
$$n_s = \frac{v_0' - v_0''}{K_2 - K_1}. \tag{70}$$

Найденные уравнения сверяются по их результатам с исходными данными тарировки.

б) Второй способ — способ центральных точек — предложен был инж. Крыловым.

Способ заключается в следующем: после того как по нанесенным на графике точкам проведен один или несколько отрезков прямой линии, характеризующих зависимость n от v, точки, относящиеся к каждому отрезку прямой, делят на 2 равные группы, так как для точного проведения прямой линии требуются 2 точки.

Сложив для каждой группы значения n и v и взяв их среднее арифметическое, находят значение координат центральных точек для первой и для второй группы (см. выше): v_1 и n_1; v_2 и n_2. Коэфициенты v_0 и K в уравнении $v = v_0 + Kn$ определяются тогда по формулам



Фиг. 169. Кривая Эппера.

$$v_0 = \frac{v_1 (n_1 - n_2) - n_1 (v_1 - v_2)}{n_1 - n_2}, \tag{71}$$

$$K = \frac{v_1 - v_2}{n_1 - n_2}. \tag{72}$$

Этот способ дает достаточно точные результаты, что выяснилось из сравнения между собой целого ряда средних ошибок наблюдений, получаемых при подсчете как по методу центральных точек, так и по более точному методу наименьших квадратов.

6. Нередко для контроля вычислений и определения коэфициентов строится вспомогательная кривая Эппера (см. выше § 69)

$$M = f(v), \tag{73}$$

где $M = \frac{N}{v}$, т. е. число оборотов на единицу пути вертушки. При $M = 0$ ($N = 0$) эта кривая дает на оси v (фиг. 169) отрезок, равный v_0; когда M достигнет постоянной величины M_0, то это значит, что соответствующая часть тарировочной кривой может быть заменена прямой линией $v = Kn$, причем

$$K = \frac{1}{M_0}. \tag{74}$$

7. Следуя Эпперу, С. И. Коллупайло принимает такой способ расчетов. По среднему числу M_0 числа оборотов на единицу скорости ($M = N : v$), взятому по кривой Эппера для того участка кривой, где точки ложатся горизонтально (фиг. 169), может быть найдена величина $K = \frac{1}{M_0}$ и уравнение прямого участка тарировочной кривой $v = Kn$. Для малых скоростей используется вышеприведенное уравнение Баумгартена: $v = an + \sqrt{bn^2 + c}$.

Для нахождения коэфициентов этого уравнения берется по Шмидту:

$$v = K_1 (1 - \beta) n + \sqrt{K_1^2 \beta^2 n^2 + v_0^2}. \tag{75}$$

Значение K_1 приближенно берется равным K, соблюдая условие, чтобы отвечающая последнему уравнению гипербола пересекала прямую $v = Kn$ приблизительно при $v = 0{,}5$ *м/сек*; для этого по Отту берется $K_1 = K - 1\% = 0{,}99\ K$ или $M_1 = M_0 + 1\%$. Значение v_0 может быть взято прямо из чертежа кривой Эппера; β находится из кривой $M = \varphi(v)$ по одному из следующих методов:

Из уравнения Шмидта

$$n = \frac{1}{K_1} v \cdot \frac{1-\beta+\sqrt{\beta^2+(1-2\beta)\frac{v_0^2}{v^2}}}{1-2\beta}, \tag{76}$$

$$M = \frac{n}{v} = \frac{1}{K_1} \cdot \frac{1-\beta+\sqrt{\beta^2+(1-2\beta)\frac{v_0^2}{v^2}}}{1-2\beta}. \tag{77}$$

После того как выбраны v_0 и какая-нибудь точка кривой с координатами v и M, β может быть вычислено так:

$$\beta = \frac{\left(\frac{v_0}{v}\right)^2 - \left(1-\frac{M}{M_0}\right)^2}{2\frac{M}{M_0}\left(1-\frac{M}{M_0}\right)}. \tag{78}$$

Фиг. 170. Кривая тарировки по Коллупайло.

Для упрощения вычислений на практике берется точка, отвечающая ординате $M = \frac{1}{2} M_0$ или $M = \frac{3}{4} M_0$. При $M = \frac{1}{2} M_0$

$$\beta = 2\left(\frac{v_0}{v_{1/2}}\right)^2 - \frac{1}{2}.$$

При $M_0 = \frac{3}{4} M_0$

$$\beta = \frac{8}{3}\left(\frac{v_0}{v_{3/4}}\right)^2 - \frac{1}{6}.$$

Для этих двух случаев проф. С. И. Коллупайло построена номограмма, позволяющая определить β по v и v_0.

Если v_0 определить графически затруднительно, то можно его определить вместе с β, решая 2 уравнения:

$$\beta = \frac{4v_{0,5}^2 - v_{0,75}^2}{6v_{0,75}^2 - 8v_{0,5}^2}, \tag{79}$$

$$v_0 = \frac{v_{0,5}}{2}\sqrt{1+2\beta} = \frac{v_{0,75}}{2}\sqrt{1+6\beta}. \tag{80}$$

Найдя тем или иным способом величину β, находят коэфициент $b = \beta^2 \cdot K_1^2$ уравнения Баумгартена, округляя его до 0,1 или 0,01. Исходя из полученн-

ного значения b, определяют коэфициент $a = K - \sqrt{b}$, а также абсциссу точки пересечения гиперболы с прямой $v = Kn$:

$$n = \frac{v_0}{\sqrt{(K - K_1 + K_1\beta)^2 - K\beta^2}} = \frac{v_0}{\sqrt{(K-a)^2 - b}} = \frac{100v_0}{\sqrt{K^2 + 200K\sqrt{b}}}.$$

Вид расчетных построений по С. И. Коллупайло показан на фиг. 170.

При таком способе подсчетов имеем, например, такие уравнения вертушки Отта X (№ 3518):

$n < 6{,}14$: $v = 0{,}0746n + \sqrt{0{,}0036n^2 + 0{,}0064}$; $n > 6{,}14$: $v = 0{,}1360n$.

§ 79. Пользование тарировкой

Пользование тарировочными данными удобно производить, представив эти данные в одной из следующих форм:

1) или в виде графика на миллиметровой бумаге в крупном масштабе;

2) или в виде таблицы зависимости значений v от n.

Последняя форма гораздо удобнее и проще в обращении и поэтому настоятельно рекомендуется. Таблицу можно составлять через любые интервалы, но лучше всего — через 0,01 об/сек. Ниже приводится образец такой таблицы.

ТАБЛИЦА 16

Тарировочная таблица вертушки Прайса № 151359

Число оборотов в 1 сек. n	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
	Скорости v м/сек									
1,5	1,03	1,04	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,08	1,09	1,09
1,6	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16
1,7	1,17	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	1,21	1,21	1,22	1,23
1,8	1,23	1,24	1,25	1,26	1,26	1,27	1,28	1,28	1,29	1,30
1,9	1,30	1,31	1,32	1,32	1,33	1,34	1,34	1,35	1,36	1,36
2,0	1,37	1,38	1,38	1,39	1,40	1,40	1,41	1,42	1,43	1,43

По этой табличке, например, при $n = 1{,}74$ имеет $v = 1{,}19$ м/сек.

При пользовании тарировочными данными необходимо иметь в виду:

1) для каких крыльев дана зависимость и для какого способа опускания вертушки — на тросе или на штанге;

2) каким пределам скоростей отвечает то или иное уравнение тарировки;

3) не устарела ли тарировка.

В этом последнем отношении можно привести такой пример последовательного изменения тарировки для вертушки Прайса № 1067:

в марте 1914 г.: $v = 0{,}012 + 0{,}680\ n$
» июне 1918 » : $v = 0{,}040 + 0{,}707\ n$
» июле 1923 » : $v = 0{,}018 + 0{,}656\ n$

причем вертушка эта работала не больше 12 раз в году.

Иногда уравнение тарировки дается не в виде $v = f(n)$, а в виде $v = f(t)$, где t — промежуток времени между последовательными звонками. Такая кривая представляет гиперболу, имеющую ассимптотами оси v и t, и для непосредственного пользования неудобна, так как малые и очень большие скорости определяются по ней неточно. Лучше привести такую кривую к обычному виду, для чего в уравнение надо подставить вместо t его выражение через n, т. е., например, если сигналы даются через 25 оборотов крыльев, то $t = \frac{25}{n}$, если через 50 оборотов, то $t = \frac{50}{n}$ и т. д.

При исследованиях, претендующих на особо повышенную точность, следует иметь в виду, что тарировочные соотношения отвечают, строго говоря, только той обстановке, в которой была выполнена тарировка. Если вода весьма мутна или имеет низкую температуру, то можно допустить возможность того или иного нарушения выведенной в нормальных условиях зависимости; поэтому для подобного рода случаев желательно выполнение особых тарировок, отвечающих особым условиям предположенных измерений.

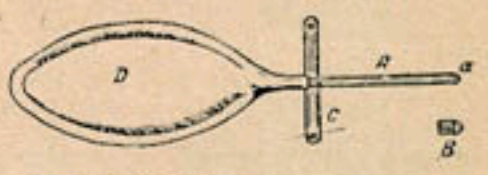
ГЛАВА XIV

БАТОМЕТРЫ И ДИНАМОМЕТРЫ

§ 80. Батометр-тахиметр

1. Батометрами называют обычно (слово «батометр» в точном переводе обозначает «глубиномер») приборы, предназначенные для взятия проб воды с тех или иных глубин в целях анализа содержащихся в воде примесей, в частности, для определения количества наносов. Имеется конструкция батометра, предназначаемого также для измерения скоростей течения.

Этот батометр, называемый складным батометром-тахиметром, относится к типу батометров, так называемого длительного наполнения. Прибор состоит из плоско складывающегося резинового мешка (футбольная камера) D и медной трубки A с заостренным концом (носиком) a (фиг. 171).



Фиг. 171. Батометр-тахиметр.

Внутренний диаметр трубки около 6 *мм*; имеется запасной наконечник B с внутренним диаметром в 4 *мм*, который может быть одет на трубку A в случае больших скоростей для удлинения срока наполнения батометра. Стержень C, соединенный с трубкой A под прямым углом и имеющий на концах дырочки, предназначается для привязывания батометра к деревянному шесту-штанге.

Полная емкость баллона около 1 200 $см^3$.

Принцип действия прибора состоит в том, что количество воды, поступающее в батометр через отверстие его приемной трубки в единицу времени, является пропорциональным скорости течения в точке вертикали, в которой прибор установлен.

Соотношение между скоростью течения v и объемом воды, попадающей в батометр в единицу времени, определяется путем предварительной тарировки прибора.

Процесс тарировки таков же, как и при тарировке вертушек, с той разницей, что ищется соотношение между скоростью движения тарируемого батометра и поступающим в него количеством воды Q при длине пути S и времени прохода этого пути в t сек.

Отсюда определяется приток воды в 1 сек.: $q = \frac{Q}{t}$ и скорость $v = \frac{S}{t}$.

Возможно тарировку батометра осуществлять сравнением его с показаниями вертушки путем поочередной установки их в одних и тех же точках вертикалей.

2. Зависимость между величинами v и q выражается или уравнением или тарировочной кривой; опыт показал, что тарировочная кривая батометра представляет собой прямую линию, имея криволинейное начертание лишь в самом начале при $q < 2$—3 $см^3$ в 1 сек. Поэтому уравнением батометра служат зависимости вида:

$$v = \alpha + \beta q. \tag{81}$$

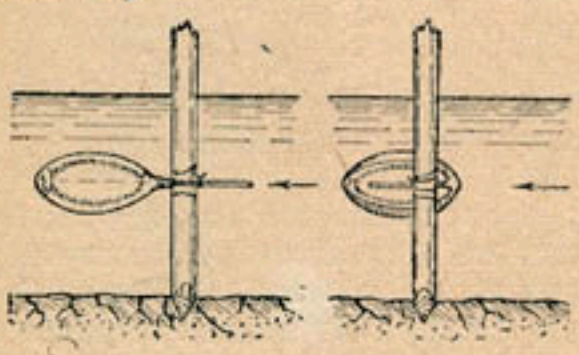
Так как каждый батометр снабжен добавочным наконечником для измерения больших скоростей, то должны быть даны две тарировочные кривые.

3. Применение батометра для измерений скоростей в отдельных точках производится следующим образом.

Батометр привязывают бечевой к штанге или шесту так, чтобы трубка его A была перпендикулярна к штанге; удобно в деревянном шесте-штанге просверливать отверстие для пропуска этой трубки.

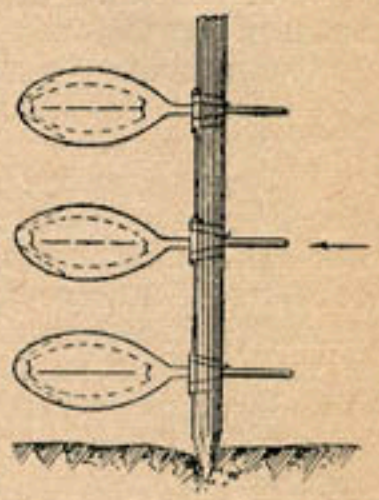
Перед опусканием прибора в воду из баллона удаляют воздух, сжимая баллон рукой: прибор опускают в воду на ту глубину вертикали, в которой необходимо определить скорость, так, чтобы носик был повернут по течению, т. е. был пригнут к телу батометра (фиг. 172). Затем штангу быстро поворачивают до того положения, когда носик делается перпендикулярным к плоскости живого сечения и направлен против течения; в этот же момент пускают в ход секундомер. Вода входит в баллон и постепенно его наполняет. Выждав некоторое время, достаточное по предварительным соображениям, чтобы баллон наполнился на $^3/_4$ своего объема, одновременно останавливают секундомер и отворачивают штангу в исходное положение, т. е. на 180° вокруг оси. Прибор затем вынимают вместе со штангой и измеряют объем воды Q, притекшей в баллон за данное время. Это измерение производится или при помощи градуированной мензурки или же путем взвешивания воды из батометра на весах (1 $г$ воды — 1 $см^3$ ее объема).

Зная величину Q, находят $q = \frac{Q}{t}$, по которому и определяется скорость в данной точке v по вышесказанному.



Фиг. 172. Установка батометра.

4. Для ускорения процесса измерений иногда применяют суммарный метод измерений скоростей при помощи целого ряда одновременно опускаемых в воду батометров, прикрепленных к одной штанге на равных друг от друга расстояниях (фиг. 173). Если при этом взять батометры, тарировочные кривые которых практически совпадают, то, продержав штангу нужное время в реке, можно затем слить воду из всех батометров в один общий сосуд, а разделив полученный объем на число батометров и время t, получить средний приток q_m, отвечающий средней скорости по вертикали v_m. Если же воду сливать из каждого батометра отдельно, то этим можно определить скорости в отдельных точках вертикали, затратив при этом на измерения весьма малое время.



Фиг. 173. Суммарный способ измерений батометрами.

5. Несмотря на свою простоту, батометр-тахиметр для получения удовлетворительных и хороших результатов требует при работе им весьма тщательного обращения, в противном случае показания его могут быть грубо ошибочными. Именно необходимо тщательно следить, чтобы: 1) трубка батометра была направлена перпендикулярно к направлению створа; 2) трубка батометра была строго горизонтальна.

По данным тарировочного отдела Гидравлической лаборатории Тимирязевской академии, отклонение носка батометра от нормального к створу на 5° дает ошибки в скоростях до 20%.

Исследование работы батометра, выполненное (1931 г.) инж. Лившицем и инж. Данович, показало также, что весьма значительные ошибки (порядка до 100% и больше) дает батометр: 1) при малых скоростях течения, меньше 0,15 $м/сек$, и 2) при измерениях в условиях зимы; в этом последнем случае показания батометра обычно преуменьшены в связи с наблюдающимся уменьшением приемного отверстия за счет ледовой кристаллизации в нем воды.

При надлежащем применении батометра-тахиметра результаты измерений могут по точности приближаться к вертушечным.

§ 81. Трубки Пито-Дарси и Амслера

1. Трубка Пито-Дарси построена на принципе превращения скоростного напора в высоту давления. Идея этого прибора принадлежит Пито (1732 г.), который впервые предложил применять для измерения скоростей течения трубку, согнутую под прямым углом и открытую с обоих концов (фиг. 174). Если такую трубку погрузить в воду так, чтобы одно колено ее было горизонтально и направлено против течения, а другое было бы вертикально, то уровень воды в вертикальном колене установится выше, чем уровень воды в реке; вес столбика воды высотой h в вертикальном колене будет уравновешивать давление текущей воды.

В идеальных условиях, т. е. если бы погруженная в идеальную жидкость трубка не нарушала движения потока, имело бы место равенство

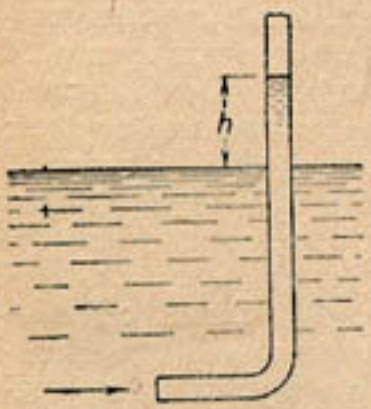
$$h = \frac{v^2}{2g}, \tag{82}$$

где g — ускорение силы тяжести, равное 9,31 *м/сек*². Отсюда скорость определялась бы по формуле

$$v = \sqrt{2gh}. \tag{83}$$

Для действительных условий в эту формулу вводится поправочный коэфициент K:

$$v = K\sqrt{2gh}. \tag{84}$$



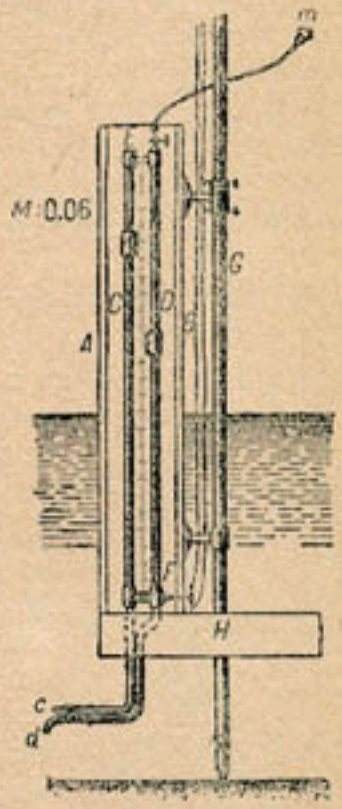
Фиг. 174. Схема трубки Пито.

Заменяя $K \cdot \sqrt{2g}$ через φ, т. е. полагая $\varphi = 4{,}43\ K$, имеем

$$v = \varphi\sqrt{h}. \tag{85}$$

Коэфициент φ постоянен для каждой трубки данной конструкции и должен быть определен тарировкой прибора.

Таким образом для измерения скорости течения при помощи динамометрической трубки оказывается необходимым измерить высоту h уровня воды в трубке.



Фиг. 175. Трубка Пито-Дарси.

2. Трубка Пито получила распространение после внесения в нее ряда конструктивных усовершенствований рядом авторов; одной из таких конструкций, пригодных для практического применения, явилось усовершенствование трубки Пито французом Дарси, откуда и имеет начало название трубки — Пито-Дарси. Прибор Дарси известен в двух видах: большая, или станционная, трубка Пито-Дарси и карманная трубка.

Большая станционная трубка Пито-Дарси состоит (фиг. 175) из двух стеклянных трубок C и D, укрепленных на деревянной доске A, на которой нанесена шкала. Внизу обе трубки переходят в медные, изогнутые под прямым углом, трубки c и d; отверстие трубки c может быть установлено против течения, в то время как отверстие второй изогнутой на конце трубки d выходит в плоскость, перпендикулярную плоскости первого отверстия, т. е. параллельную течению. Доска A прикрепляется к штанге G при помощи муфт; руль H облегчает нужную установку всего прибора.

В оправе имеется кран F, открывающий и закрывающий обе трубки одновременно при помощи тяжей B.

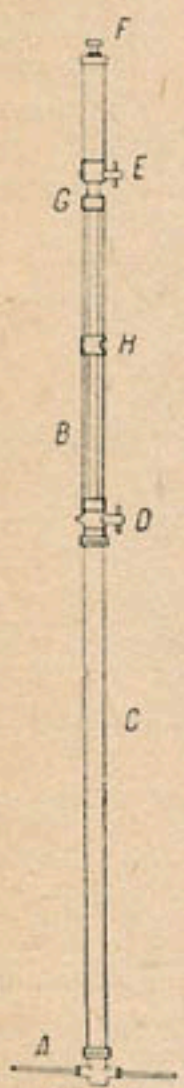
Когда прибор погружен в воду и кран F открыт, вода поднимается в трубке C выше, чем в трубке D, под действием скоростного напора, не влияющего на трубку D. Верхние концы обеих трубок входят в общую обойму E; с этой обоймой при посредстве крана соединяется резиновая трубка, оканчивающаяся раструбом m. Всасывая воздух через раструб m, можно для удобства отсчетов поднять воду

в обеих трубках одновременно на некоторую высоту и закрыть кран у E. После этого при посредстве шнурков к крану F закрывают этот последний кран, устанавливают имеющиеся на трубках указатели против установившихся в трубках уровней и делают по шкале доски соответствующие отсчеты — h_1 и h_2. Искомая скорость на глубине H равна

$$v = \varphi \sqrt{h_1 - h_2} = \varphi \sqrt{h}. \qquad (86)$$

Если трубка погружается в воду настолько, что отсчетов по шкале сделать нельзя, то в трубку через m вдувается воздух, и для отсчета приходится весь прибор вынимать из воды.

Продолжительность нахождения прибора в воде перед отсчетом — около 1 мин. Величина коэфициента φ, как указывалось, зависит от конструкции прибора: соотношения между диаметрами входных отверстий и стеклянных трубок, материала вводных трубок и т. п. Средняя величина φ равна 4,5 (для метрических мер), колеблясь от 3,5 до 5,1.



Фиг. 176. Трубка Амслера.

Вводные отверстия трубок делаются для уменьшения колебаний уровней в трубках возможно меньше, обычно менее 1 *мм*.

3. Из других конструкций гидрометрических трубок можно назвать трубку Пито конструкции Амслера (фиг. 176). Прибор состоит из таких частей: а) нижней головной части со скрепленной с ней горизонтальной приемной трубкой A, имеющей отверстия с обоих своих концов; б) вставки в виде металлического кожуха B с нанесенными на нем делениями, отсчеты по коим могут быть выполнены при помощи передвижного визира H, причем внутри кожуха заключены 2 стеклянные трубки; в) двух металлических трубок, заключенных в общий кожух C. Вверху прибора помещен насос с поршнем F и краном E. Общая длина прибора около 2 *м*. При небольших глубинах измерений часть B может быть непосредственно присоединена к головной части с приемником A. Соединение частей трубок C и B с головной частью и между собой осуществляется при помощи герметических медных колец — обоймиц. Перед приступом к измерениям надо позаботиться о том, чтобы внутренние трубки прибора не содержали воздуха. Для этого, по возможности в стоячей воде, нужно, открыв краны D и E и действуя насосом F, поднять воду в стеклянных трубках приблизительно до их середины и убедиться, что подъема пузырьков воздуха не наблюдается и что уровни в обеих стеклянных трубках стоят на одной высоте. Если поблизости от места измерений стоячей воды нет, то подобную поверку можно выполнить, погрузив прибор в воду так, чтобы приемная трубка была направлена поперек течения; наконец, можно даже для поверки установить приемную трубку так, как для измерений; в обоих последних случаях обязательно затем поворачивают прибор на том же месте на 180°, обращая внимание на то, что в этом случае должна сохраниться та же разница уровней в обеих трубках, что и при первой установке. В случае наличия в трубках мешающего измерениям воздуха последний заставляют подняться вверх легкими постукиваниями рукой по различным частям трубок; в случае постоянного тока пузырьков воздуха следует проверить плотность соединения отдельных частей прибора и обеспечить ее надлежащим образом.

После указанной поверки, перед измерением не следует выпускать воды из трубок, чтобы воздух снова не попал в них; для этого нужно предварительно закрыть кран D (поставив его головку горизонтально) и открыть его только после погружения трубки в месте измерения. В момент, отвечающий желаемому отсчету, кран D снова закрывают, вынимают прибор из воды и производят отсчеты при помощи визира H.

Для увеличения точности отсчетов при малых скоростях Гизелер предложил для гидродинамических трубок применить идею диференциального жидкостного манометра: в пространство внутри манометрических трубок можно влить, например, керосин, удельный вес которого меньше, чем воды, около 0,8—0,9; в этом случае разность уровней увеличивается обратно пропорционально разности удельных весов, что влечет за собой уменьшение ошибки отсчета. Без такого приспособления трубками нельзя измерять скорости, меньшие 0,3 *м/сек*.

Другой прием, имеющий в виду повышение точности отсчетов, состоит в том, что трубки, по которым делаются отсчеты, располагаются наклонно.

4. Общие недостатки всех конструкций гидродинамических трубок следующие:

1. Трубки измеряют мгновенную скорость, имеющую место в момент запирания крана и могущую колебаться (как указывалось выше, см. § 56) в значительных пределах в зависимости от влияния пульсации; такие колебания еще усиливаются действием упругости воздуха, находящегося в воде открытых потоков и покрывающего часто стенки трубок своими пузырьками. Поэтому, чтобы получить осредненную скорость в точке, нужно делать многократные наблюдения в одной точке (до нескольких десятков), что сильно замедляет работу.

2. Трубками трудно измерять скорости на больших глубинах, а после некоторого предела невозможно совсем.

3. При небольших скоростях разность давлений (высот уровней) в трубках очень мала — меньше ошибок отсчитывания.

4. Тарировка трубок в силу влияния на их показания пульсации затруднительна.

5. К достоинствам трубок следует отнести:

1) отсутствие изнашивающихся подвижных частей и в связи с этим неизменяемость тарировочных коэфициентов;

2) отсутствие необходимости при определении скоростей измерять время.

6. На основании сказанного гидродинамические трубки в полевых условиях имеют применение сравнительно редко. Зато весьма удобно их применение в гидравлических лабораториях для измерений скоростей в непосредственной близости ко дну и стенкам потока, что затруднительно выполнять приборами иного типа; в связи с этим для лабораторных целей имеется выработанный ряд специальных конструкций. С успехом можно применять трубки также для измерения больших скоростей в тонкой струе воды, например, в водоприводных мельничных лотках, в быстротоках.

7. Тарировка трубок, по отмеченным выше их особенностям, требует большой тщательности в ее выполнении. Удобнее всего эту тарировку производить путем сравнения измерений, выполняемых трубкой и каким-либо другим выверенным прибором, например, вертушкой, причем в расчет для каждой скорости вводится среднее значение φ из ряда измерений.

Тарировочная кривая трубки согласно уравнению (86) есть парабола 2-й степени; если вместо значений $h = h_1 - h_2$ откладывать по соответствующей оси (абсциссе) значения $\sqrt{h}$, то кривая обратится в прямую линию, тангенс угла наклона которой к этой оси будет равен φ.

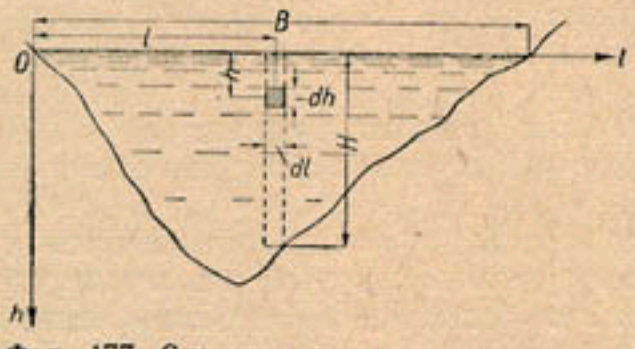
ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ И НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

ГЛАВА XV

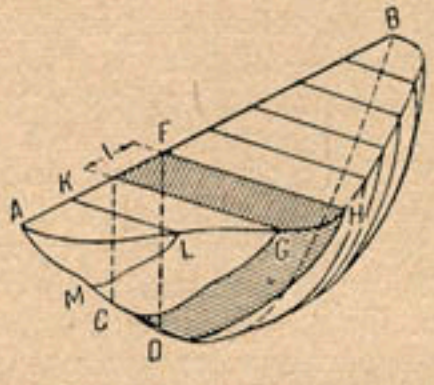
СПОСОБЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ

§ 82. Модель расхода

Расходом воды потока у данного пункта называют количество воды, протекающее в единицу времени через данное живое сечение; за единицу времени повсеместно принята секунда; за единицу объема (количества) у нас принят куб. метр; в дореволюционное время расход у нас выражали в куб. сажени в 1 сек.;



Фиг. 177. Схема к вычислению расхода.



Фиг. 178. Модель расхода.

в Западной Европе принят куб. метр в 1 сек.; в Англии и Америке — куб. фут в 1 сек.

Понятие расхода потока лучше всего уясняется путем представления о «модели» расхода. Пусть имеется плоскость живого сечения реки, изображенная на фиг. 177 в осях координат h (глубины) и l (расстояния от уреза), с началом координат в точке O, т. е. на урезе воды. Элементарный расход dQ через бесконечно малую площадку $d\omega = dh \cdot dl$ около точки с координатами h и l, в которой скорость есть v_n, равен объему призмы с площадью сечения $d\omega$ и высотой, равной средней элементарной скорости v_n; в общем случае эта скорость равна действительной скорости в этой точке v, умноженной на косинус угла отклонения ее от нормали к площадке $d\omega$, т. е. $v_n = v \cdot \cos \alpha$. Таким образом

$$dQ = d\omega \cdot v \cdot \cos \alpha, \tag{87}$$

где α — угол между нормалью к площадке и направлением скорости в точке (h, l), причем

$$v = f(h, l). \tag{88}$$

Тогда расход Q через всю площадь живого сечения определяется так:

$$Q = \int v \cdot \cos \alpha \cdot d\omega = \int_0^l \int_0^h v \cdot \cos \alpha \cdot dh \cdot dl. \tag{89}$$

Заменяя $v \cdot \cos \alpha$ через v_n, имеем

$$Q = \int_0^l \int_0^h v_n \cdot dh \cdot dl. \tag{90}$$

Геометрически этот двойной интеграл выражает объем водяного тела (фиг. 178), заключенного между: площадью живого сечения, криволинейной поверхностью $v = f(h, l)$, горизонтальной поверхностью воды в реке и руслом реки.

Это водяное тело, равное расходу, носит название м о д е л и р а с х о д а. Отметим теперь, что изотахи (§ 59), в сущности, являются изображением рельефа модели расхода на плоскости живого сечения реки и могут быть рассматриваемы как результат пересечения модели расхода рядом равноотстоящих плоскостей, параллельных живому сечению.

Пересечение модели расхода вертикальной плоскостью, перпендикулярной к плоскости живого сечения, дает площадь скоростей по вертикали с графиком скоростей. Пересечение модели расхода горизонтальной плоскостью дает эпюры распределения скоростей на данной глубине; в частности, кривая пересечения поверхностной горизонтальной плоскостью дает эпюру поверхностных скоростей; эпюру донных скоростей из модели расхода можно получить, если развернуть на плоскости пересечение поверхности русла реки с криволинейной поверхностью $v = f(h, l)$.

Величину интеграла $Q = \int_0^l \int_0^h v_n \cdot dh \cdot dl$ можно было бы определить, если бы была известна зависимость $v = f(h, l)$.

Так как теоретический вид последней нам неизвестен, то объем модели расхода может быть вычислен лишь на основе соответствующих измерений скоростей в натуре; тело модели расхода расчленяется в таком случае параллельными плоскостями на отдельные, более простые элементы и объем модели расхода вычисляется приближенно.

Если представить себе, что параболическое тело модели расхода заменено равновеликим объемом более простого тела, построенного на плоскости живого сечения так, чтобы оно ограничивалось поверхностью воды, поверхностью дна реки и двумя параллельными плоскостями с равными площадями Ω, из коих одна — плоскость живого сечения, и если обозначить расстояние между обеими последними плоскостями через $v_{ср}$, то получится такое выражение для Q:

$$Q = \Omega \cdot v_{ср}, \tag{91}$$

где $v_{ср}$ получает значение средней скорости для всего живого сечения реки Как видно из сказанного, величина $v_{ср}$ имеет фиктивное значение.

В связи с этим средняя скорость $v_{ср}$ вышеприведенного выражения расхода не может быть достаточно точно получена как среднее арифметическое из действительно измеряемых скоростей в отдельных точках живого сечения; значение скорости в каждой точке живого сечения входит в общую сумму расхода в виде произведения на соответствующую этой точке элементарную площадку живого сечения и удельный вес отдельных скоростей, измеренных в отдельных точках, неодинаков (см. также § 107). Поэтому средняя скорость $v_{ср}$, входящая в общее выражение расхода $Q = \Omega \cdot v_{ср}$, являясь некоторой фиктивной скоростью, может быть получена точно только из соотношения

$$v_{ср} = \frac{Q}{\Omega}. \tag{92}$$

§ 83. Способы определения расходов

1. Для вычисления расхода путем расчленения модели расхода требуется знать величины отдельных элементарных частей всего объема расхода. Эти элементарные расходы можно вычислять, если знать скорости в отдельных точках живого сечения.

Наиболее употребительным способом расчленения модели расхода является расчленение ее вертикальными плоскостями, перпендикулярными к плоскости живого сечения (фиг. 178); в этом случае элементарные объемы расхода вычис-

ляются как произведение полусуммы площадей графиков скоростей ω_i на двух соседних вертикалях, находящихся на расстоянии l:

$$q = \frac{\omega_{n+1} + \omega_n}{2} \cdot l. \tag{93}$$

Таким образом для вычисления расхода по указанной схеме нужно произвести: 1) измерение глубин отдельных вертикалей и расстояний между ними; 2) измерение скоростей в отдельных точках вертикалей или сразу на всей вертикали (вертушкой, батометром, динамометром, гидрометрическим шестом).

II. Практика установила также ряд зависимостей, пользуясь которыми, можно приближенно вычислять величину скорости, отвечающую средней скорости всего живого сечения (т. е. $v_{ср}$), исходя из более простых, чем в вышеописанной схеме, определений, а именно на основе измерений скоростей поплавочных, т. е. измерений поверхностных струй, или даже только максимальной поверхностной скорости. В этом случае измерение расхода сводится к выполнению двух операций: 1) измерению элементов площади живого сечения и 2) измерению поверхностных скоростей $v_{пов}$.

Расход тогда вычисляется по формуле

$$Q = K \cdot \Omega \cdot v_{пов}, \tag{94}$$

где K — эмпирический коэфициент для перехода от измерений поверхностной скорости к фиктивной средней во всем живом сечении.

III. Способ измерения всей результативной средней скорости в сечении при помощи измерительных щитов или при помощи впуска химических примесей и фиксации времени их перемещения с потоком дают возможность вычислять расход по формуле

$$Q = \Omega \cdot v_{ср}. \tag{95}$$

IV. По последней же формуле может быть приближенно получено значение расхода, если средние скорости в сечении вычислить по приближенным эмпирическим формулам (приводимым в курсах гидрологии и гидравлики).

В этом случае измерению подлежат элементы площадей живых сечений на участке и уклон поверхности воды.

V. Расходы воды через водопропускные отверстия плотин могут быть определены на основании зависимостей, даваемых гидравликой в теории водосливов; здесь требуется измерение ряда характеристик водосливов или отверстий, через которые проходит вода в плотинах. На малых потоках измерительные водосливные устройства могут быть сооружены специально.

VI. Особо стоят приемы измерения расходов способами смешения, основанные на определении степени изменения концентрации впускаемого в поток раствора каких-либо солей (чаще всего NaCl), или, иначе х и м и ч е с к и е с п о с о б ы.

VII. Наконец, расходы малых потоков могут быть определены прямым измерением их путем собирания объема протекающей воды в течение определенного промежутка времени t в сосуды известной емкости A; в этом последнем случае величина расхода определится так:

$$Q = \frac{A}{t}. \tag{96}$$

Способ этот можно назвать о б ъ е м н ы м.

Таким образом существующие способы измерения расходов можно подразделить на такие главные группы:

1) определение расхода путем измерения скоростей течения реки и площади живого сечения (п. I, II, III);

2) определение расхода путем определения некоторых элементов, входящих в формулы, выработанные гидравликой (п. IV и V); эту группу можно назвать группой гидравлических способов;

3) определение расхода способами смешения (п. VI);

4) объемный способ измерения расхода.

Первая группа способов применяется наиболее широко, ибо позволяет определять расходы любых по величине потоков. Применяемые при этом способе инструменты могут быть самые разнообразные, начиная от поплавков и кончая вертушками.

Из второй группы способов надежные и точные результаты дает только теория водосливов, особенно для малых потоков, при применении специально сооружаемых водосливных приспособлений; в отличие от этого способы п. IV весьма грубы и могут быть терпимы только при невозможности применить какой угодно иной способ.

Третий способ может быть с успехом применен на потоках с быстрым течением, облегчающим процесс смешивания концентрата с водой потока, а также при неправильном русле, затрудняющем применение иных способов; этот способ требует наличия некоторых химических веществ и препаратов.

Способ четвертый, как отмечалось, может иметь место лишь при измерении расходов небольших потоков, непосредственное измерение количества воды в коих возможно осуществить практически.

Из всех этих способов, как отмечено, наиболее широкое применение имеет первый способ. Поэтому применительно к установившейся практике можно приведенную классификацию способов определения расходов упростить, обозначив первый из названных способов как о с н о в н о й, а остальные как особые, в с п о м о г а т е л ь н ы е.

§ 84. Организация изучения расходов

1. Организация систематического изучения расходов должна предусматривать следующее:

1) выбор местоположения и устройство надлежаще оборудованных пунктов для измерений — гидрометрических створов или станций (§ 15, 17, 18, 52, 53, 54);

2) организацию систематических наблюдений за уровнями с надлежащей точностью и частотой (§ 37, 39, 40);

3) организацию учета факторов, искажающих бытовые уровни (изменения дна, переменные подпоры, водная растительность, ледовые явления);

4) надлежащий выбор приемов измерения расходов и оборудования для этих измерений (§ 60 и 83);

5) установление рациональной частоты и сроков измерения расходов;

6) систематический контроль измеряемых расходов.

Данные по пп. 1—4 были приведены выше, в ранее изложенных разделах книги.

Если целью измерений расходов является установление зависимости $Q = f(H)$, то сроки и частота измерения расходов должны определяться прежде всего характером изучаемого объекта, и притом не у гидрометрического створа, а на участке у водомерного поста.

В таких случаях нужно иметь в виду следующее:

а) На реках с неизменным руслом измерения расходов, нужные для установления связи уровней с расходами, могут быть произведены в любые сроки, лишь бы этими измерениями были охвачены все как средние, так и крайние значения уровней. При этом нужно иметь в виду, чтобы одно измерение расхода приходилось примерно на $^1/_{20}$ амплитуды колебаний уровней, отдельно для периодов спада и для периодов подъема воды. Особенно важно измерять расходы самых высоких и самых низких вод (в том числе зимних).

б) На реках с изменяющимся дном (на участке водомерного поста) измерение расходов необходимо производить возможно чаще; на реках, русло коих меняется п е р и о д и ч е с к и, обязательно измерение расходов в каждый сезон года и после каждого прохода высоких вод, особо сильно влияющих на состояние русла; в среднем число годовых измерений расходов для рек с изменяющимся дном должно быть не менее 15—18. На реках, русло которых меняется п о с т о я н н о, частота измерений расходов должна быть еще больше.

в) Частое измерение расходов в каждом году обязательно также для рек с руслом, в котором имеется у водомерного поста богато развитая водная расти-

тельность. Здесь измерения расходов должны приурочиваться кроме обычных общих соображений к таким периодам: начало развития вегетации, середина вегетационного периода и конец его — глубокая осень; в каждый период необходимо измерять не менее 2—3 расходов. Обоснование к такому распределению измерений будет приведено далее, в § 125.

г) Особое внимание следует обратить на измерение зимних расходов. Таковые измерения необходимо производить не менее 6—10 раз за зимний сезон: в период осеннего ледохода; в первые 5—10 дней после начала ледостава; в середине зимы — не менее двух расходов; в конце зимы, после весеннего перехода температуры воздуха через нуль (в сторону положительных температур) и в период весеннего ледохода.

2. В целях правильного планирования работ по измерению расходов полезно вести специальный планово-учетный журнал.

Примерное содержание (название граф) планово-учетного журнала может быть такое: 1) названия и номера пунктов измерений; 2) их местоположение; 3) дата открытия; 4) назначение; 5) особые условия наблюдений; 6) амплитуды колебаний уровней; 7) данные, характеризующие выполненные измерения (с выделением зимнего сезона); 8) графы для указаний на необходимые в дальнейшем измерения (контрольные, поверочные, дополнительные); 9) графы для заполнения их данными последующих измерений.

Такой журнал, будучи составлен тщательно, дает возможность в любой момент наметить наиболее целесообразное распределение работ по измерениям расходов на ближайшее время, а также проконтролировать выполнение плана работ.

3. Весьма важно осуществлять непрерывно систематический контроль измеряемых расходов (если имеется в виду построение кривой расходов). Этот контроль целесообразно осуществлять путем непрерывного сопоставления результатов выполняемых измерений расходов у данного пункта с уже выполненными ранее.

Такие сопоставления своевременно укажут на: 1) ошибочность отдельных измерений; 2) наличие у места измерений условий, исключающих возможность построения непосредственной однозначной зависимости расходов от уровней (наличие переменного подпора, зарастание русла травой и т. п.). Указанные сопоставления для расходов, измеренных при свободной ото льда воде, удобно производить графически. В этих целях для каждого пункта измерений заводится на миллиметровой клетчатке контрольный чертеж измерений расходов.

Использование контрольного чертежа для контроля измеренных расходов выполняется в соответствии с правилами анализа измеренных расходов, предшествующего построению кривой расхода; указания по такому анализу даны далее (§ 117).

Параллельно с поверкой измеренных расходов должна составляться сводная ведомость измеренных расходов; содержание и форма такой сводной ведомости даны также далее, в § 117.

4. Контроль выполнения хода работ по каждому водомерному посту или станции в системе ГУГМС осуществляется записями и отметками в контрольном журнале станции (§ 36); в конце этого журнала имеется лист для «Условного графика гидрологических наблюдений», на котором строится рейка уровней в масштабе, охватывающем всю амплитуду уровней; против этой рейки условными знаками наносятся все виды работ, произведенных на данном водомерном посту или станции (расходы, пробы и т. д.).

ГЛАВА XVI

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ПРИ ПОМОЩИ ПОПЛАВКОВ

§ 85. Общая характеристика поплавочных измерений

При поплавочных измерениях расходов пользуются наиболее часто поплавками поверхностными, реже применяют гидрометрические шесты и поплавки-интеграторы (§ 61, 63 и 64).

Глубинные поплавки почти не применяются в силу неопределенности соотношений между измеряемой ими скоростью и среднею скоростью на вертикали.

Самые точные результаты дают поплавки-интеграторы, затем — гидрометрические шесты и, наконец, — поплавки поверхностные; измерения последними, однако, наиболее просты и возможны к осуществлению в наибольшем числе случаев.

Измерение расходов при помощи поплавков в ряде случаев является более удобным, хотя и менее точным способом, чем измерения при помощи более сложных приборов, например, вертушек.

При надлежащем применении и при соблюдении нужных условий способы эти могут дать достаточно точные для практики результаты.

Измерения при помощи поверхностных поплавков приходится применять предпочтительно перед более сложными при таких условиях:

1) при невозможности применять для измерений какие бы то ни было приборы, в частности вертушки, из-за ледохода на реке, присутствия в реке большого количества взвешенных наносов и посторонних, влекомых водой тел, например, соломы, веток, травы и т. п.;

2) в период половодий и паводков на реках с весьма сильным течением, затрудняющим установку других приборов;

3) при недостатке времени и средств;

4) при весьма малых скоростях течения, не улавливаемых крыльями вертушек или не дающих им равномерного вращения.

В последнем случае поплавочные измерения могут давать *более точные результаты*, чем вертушки.

Таким образом поверхностные поплавки применяются преимущественно для измерений временного характера.

Весьма важным условием для применения поверхностных поплавков является *отсутствие ветра*; в противном случае результаты могут быть в сильной мере искажены.

Рабочая партия для работы с поплавками для рек средней величины обычно состоит из техника, десятника и 3—4 рабочих; на больших реках или для половодных измерений штат партий может быть удвоен и даже утроен.

§ 86. Подготовительные работы

Подготовительные работы к измерениям расходов поплавками включают в себя: 1) выбор места для измерений и рабочего участка; 2) разбивку створов; 3) производство промеров русла; 4) организацию наблюдений за уровнями.

1. В случае стационарных измерений, приурочиваемых всегда к одному и тому же месту, операции, указанные в пп. 1 и 2 и описанные далее, выполняются один раз в начале организации измерительных работ и притом применительно к сказанному в § 17, 21, 52 и 53; в этом же случае устройство створа сопровождается инструментальной съемкой участка и закреплением створов и магистрали реперами. При выборе места измерений, в дополнение к сказанному в § 21 п. «в» (стр. 39), следует иметь в виду следующее:

Участок для поплавочных измерений должен быть взят на прямолинейной части реки, имеющей однообразную глубину и ширину на протяжении в пределах не менее тройной или даже пятикратной ширины реки; скорости течения на таком участке должны быть равномерными; не должно быть с берегов никаких препятствий, которые могли бы вызывать отклонения струй или создавать обратные и косые течения или так называемые «мертвые пространства» со стоячей водой. Дно участка должно быть ровным, не иметь корчей, выступающих камней и т. п. В случае наличия водной растительности таковая должна быть обязательно удалена путем выкоса или выдергивания. На заболоченных речках с медленным течением всегда следует выбирать для измерений скоростей отдельные сужения и быстротоки, а не широкие плесы с почти стоячей водой.

Предварительный выбор необходимого участка делается путем осмотра реки с берегов, руководствуясь очертанием берегов и характером течения; правильному

руслу соответствуют скорости, постепенно увеличивающиеся от берегов к середине и однообразные по длине участка.

Окончательный выбор производится после промеров, имеющих целью убедиться в соответствии дна участка указанным выше условиям.

Само собой понятно, что при условиях половодий и паводков выбор участка осуществляется либо по данным ранее произведенных промеров, либо по необходимости на основании одного внешнего осмотра.

2. Наметив по реке место, удовлетворяющее указанным выше условиям, выбирают на нем рабочий участок, т. е. участок такой длины, на котором удобно производить измерения скоростей.

Длина рабочего участка определяется такими требованиями. С одной стороны, желательно взять эту длину наименьшей, чтобы измеренная скорость возможно больше приближалась к скорости в главном створе измерений, с другой стороны, неточности в определении длины пути поплавка и продолжительности его хода будут влиять на результаты измерений тем больше, чем меньше эта длина. Поэтому длину рабочего участка приходится устанавливать с таким расчетом, чтобы она была наименьшей, но в то же время достаточной для обеспечения достаточной точности измерения скоростей.

Скорость движения поплавка определяется по формуле

$$v = \frac{L}{T}, \qquad (97)$$

где L — длина пути; T — продолжительность хода поплавка. Можно считать, что погрешности в определении величины v, имеющие связь с определением величины T, можно целиком отнести за счет неточного определения величины T.

Исходя из этого, длину рабочего участка надо выбирать такой, чтобы продолжительность хода поплавка для максимальной поверхностной скорости была бы не меньше 25 сек. при работе с секундомером и не меньше 40 сек. при работе с секундной стрелкой карманных часов. В случаях очень небольших речек и ручьев от указанных правил приходится отступать, так как нередко трудно найти участок нужной длины; в таких случаях иногда приходится брать рабочие участки в 5—10 *м* длиной, независимо от скорости течения.

Выбрав длину рабочего участка и его положение и обозначив границы выбранного участка вехами, разбивают по берегу магистраль параллельно течению в реке, т. е. при правильном русле параллельно урезам воды.

Затем из середины разбитой магистрали, перпендикулярно к ней и к направлению течения (на глаз или по способам § 52), провешивают основной средний створ участка, закрепляя его двумя вешками на магистральном берегу (с расстоянием между ними в 5—10 *м*, но не меньше $^1/_{10}$ ширины реки) и одной — на втором берегу; вешки надо устанавливать строго вертикально.

На концах выбранного участка аналогично предыдущему устанавливают и закрепляют вехами направления верхового и низового вспомогательных створов.

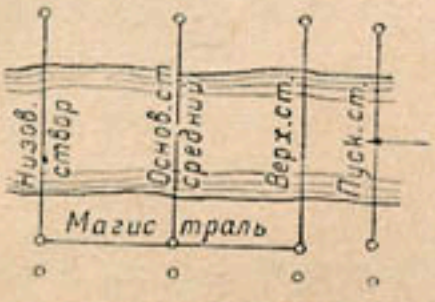
Кроме указанных рабочих створов выше верхового створа на 5—10 *м* разбивают вспомогательный пусковой створ (фиг. 179); с этого створа при определении скорости течения запускают поплавки для того, чтобы, войдя в первый рабочий створ, поплавок уже принял скорость той струи, которая его перемещает по поверхности реки.

Чтобы уменьшить неточности, зависящие от толщины вешек, можно устанавливать створные знаки по образцу примененных на камско-иртышских водных изысканиях (фиг. 180), т. е. заменяя вехи натянутой проволокой (*BA* — на фиг. 180) или по образцу фиг. 181.

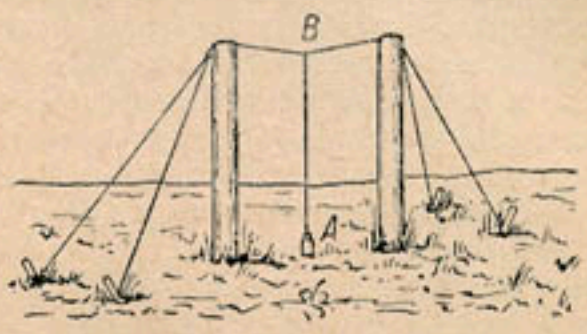
3. После разбивки и обозначения створов производят промеры глубин русла реки на каждом из трех створов.

Промеры выполняются, как сказано в гл. III.

Производство промеров в каждом створе начинают обязательно от одного и того же берега (магистрального); в каждой промерной точке записываются расстояние этой точки от магистрали и измеренная глубина воды; обязательно нужно записать также расстояние обоих урезов воды створа от магистрали.



Фиг. 179. Обозначение створов.



Фиг. 180. Створный знак из проволоки.

Следует иметь в виду, что ширина и соответственные глубины реки на всех трех створах должны быть примерно одинаковыми; в противном случае следует считать, что участок для измерения расходов выбран не совсем удачно и требует перенесения.

4. Перед приступом к измерению глубин (при отсутствии вблизи водомерного поста) забивается на урезе воды, в профиле основного створа, кол диаметром около 0,05 *м* и длиной около 0,50 *м* заподлицо с водой.

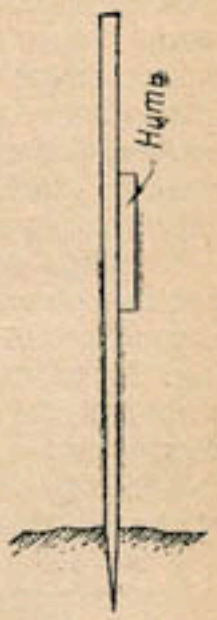
Этот кол связывается нивелировкой с ближайшим репером. Во все время производства работы необходимо производить наблюдения за колебаниями уровня воды в реке. Особо следует записывать уровни перед и после измерения глубин, перед приступом к измерению скоростей, перед пуском каждого поплавка и после всех измерений.

Если за время работы уровни изменились не больше чем на 2 *см*, за уровень, соответствующий расходу, принимается средний из зарегистрированных уровней.

При более значительных колебаниях уровней во время определения расхода определение скоростей следует повторить, следя, чтобы весь процесс измерения скоростей закончился возможно быстрее, при колебаниях уровней не больше 2 *см*. Изменение уровней, отмеченное во время промеров, должно вноситься в виде поправки в измеренные глубины.

Помимо наблюдений за уровнями следует особо отмечать такие данные: общее состояние погоды, направление и силу ветра, характер грунта русла реки, наличие в воде мути и мусора и т. п.

Точно так же в полевых документах должны быть точно обозначены географическое место определения расхода и время, час и дата.



Фиг. 181. Створный знак иного типа,

§ 87. Измерение скоростей

Производство измерений скоростей при помощи поверхностных поплавков удобно выполнять, сообразуясь с тем или иным характером водотока.

В этом последнем отношении можно выделить 3 таких случая: 1) водотоки малые с быстрым течением; 2) водотоки средней величины с шириной в 20—50 *м* или меньше, но с медленным течением; 3) большие реки.

1. На малых реках с быстрым течением при ширине до 20 *м* для получения средней скорости всего потока можно определить лишь наибольшую поверхностную скорость.

Для этого поплавки забрасываются (с пускового створа) в те места, где наблюдаются наибольшие скорости, т. е. на середину реки.

Моменты вступления поплавка в верховой и низовой створы отмечаются по секундомеру. Всего следует пускать 10—15 поплавков, обозначая каждый из них порядковым номером и записывая против каждого номера поплавка соответствующую ему продолжительность хода между крайними створами.

Из полученных результатов выбирают два с наименьшей продолжительностью хода. Если расходимость между ними не превосходит 10%, то берут из них среднее арифметическое, которое и принимается за соответствующее наибольшей поверхностной скорости. При расходимости больше 10% для такой пары поплавков пускают 5—6 дополнительных поплавков; если и после этих измерений расходимость между двумя самыми быстрыми поплавками больше 10%, то самый быстрый поплавок откидывается как случайный и берут следующие два.

По расстоянию между створами L и средней из двух случаев наименьшей продолжительности хода поплавков T находят наибольшую скорость на поверхности

$$v_{max} = \frac{L}{T}. \qquad (98)$$

2. При ширине реки больше чем 20 *м* или меньше, но с медленным течением, необходимо определять скорости течения по всей ширине реки в разных продольных профилях участка, не ограничиваясь измерением лишь наибольшей скорости поверхностного течения.

Организация и выполнение таких работ должны итти следующим образом.

На среднем створе перетягивается, как для производства промеров, размеченная бечева или металлический трос.

Руководящий работой техник с секундомером помещается несколько ниже основного среднего створа так, чтобы ему удобно было замечать места прохода поплавков под натянутой бечевой или тросом.

Первый поплавок забрасывается помощником руководителя работ на пусковом створе у ближайшего берега реки. Затем помощник переходит к верховому створу и отмечает (желательно — звуковым сигналом) как момент подхода поплавка к створу (предупредительный сигнал), так и момент самого прохода поплавка через створ (сигнал прохода), например, при подходе поплавка поднимает руку с флажком, в момент прохода поплавка через створ — опускает руку или кричит: «подходит» и «прошел». По последнему сигналу руководитель работ пускает секундомер в ход.

Затем помощник переходит к среднему створу и точно так же отмечает проход поплавка через этот створ; руководитель обязан заметить то расстояние, на котором находится в этот момент поплавок от магистрали берега, например, 5 *м*. Далее, помощник переходит к низовому створу, и по его сигналу секундомер останавливается, отметив, таким образом, продолжительность хода поплавка между створами.

Полученная продолжительность хода поплавка и место его прохода через средний створ (расстояние от магистрали) записываются в бланк (или книжку) под № 1.

Следующий поплавок забрасывается ближе к середине реки, и вся процедура повторяется по предыдущему.

Этот поплавок отмечается № 2.

Таких пусков поплавков, обозначенных последовательными номерами, необходимо произвести не менее 15—30, имея в виду, чтобы получены были скорости по всей ширине реки как посередине, так и у обоих берегов, причем распределение их должно быть по ширине реки более или менее равномерное.

По полученным продолжительностям хода поплавков между крайними створами и расстоянию между этими створами вычисляют поверхностные скорости струй различных продольных сечений русла.

3. На широких реках шириной более 50—75 *м* пользоваться протянутым через реку тросом (или размеченной бечевой) неудобно, так как последний дает сильный провес, а бечева при более значительном натяжении сильно растягивается. С другой стороны, определение с берега места

прохода поплавков по тросу ввиду большой ширины реки также в этих случаях затруднительно. Поэтому в этих случаях места прохода поплавков через створ определяют обычно путем засечек угломерным инструментом.

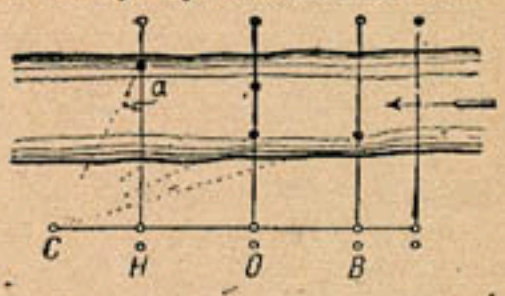
При наличии угломерного инструмента (теодолит, гониометр) работа по определению скоростей и места прохода поплавков организуется следующим образом:

Разбитая по § 86 магистраль продолжается (вниз или вверх) на такое расстояние, чтобы в ближайшем створе углы засечек угломерным инструментом, установленным в конечной точке *C*, были не острее 30° (угол α на фиг. 182).

Для этого расстояние от ближайшего створа до стоянки инструмента должно быть более половины ширины реки. Порядок пуска поплавков такой же, как и вышеуказанный.

При большой ширине реки поплавки запускают с лодки, что выполняет специальный рабочий; при большой скорости течения следует у каждого из створов ставить отдельных наблюдателей, так как один может не успевать переходить от одного створа к другому во время движения поплавка.

При инструменте кроме техника, наблюдающего за ходом поплавков, должен быть его помощник с секундомером. Наблюдатели у створов сигнализируют по предыдущему два момента: подход поплавка к створу и самый проход поплавка через створ.



Фиг. 182. Определение места прохода поплавков при помощи угломера.

Для успешности работы необходимо, чтобы пущенный поплавок сразу же был пойман в поле зрения угломерного инструмента и не выпускался из такового до конца хода поплавка через все створы. Поэтому все зрительные сигналы наблюдателей у створов (как предварительные, так и соответствующие моменту прохода поплавка через створ) передаются технику у угломерного инструмента стоящим рядом с ним с секундомером его помощником условными звуковыми сигналами. По этим последним сигналам техник у угломерного инструмента делает засечку положения поплавка на створе, т. е. отмечает угол по отношению к магистрали; момент прохода отмечается по секундомеру помощником, который также ведет счет поплавков, их нумерацию и делает все необходимые записи.

По окончании полевой работы вычисляются скорости хода отдельных поплавков, затем определяются места прохождения поплавками главного (среднего) створа; для этого вычерчивается в достаточно крупном масштабе (§ 88) схема расположения створов, магистрали и угломерного инструмента; откладывая полученные углы засечек, получают искомые положения поплавков на основном, а также и на других створах; места прохода одних и тех же поплавков на всех трех створах должны лежать на линиях, близких к прямым, параллельным берегам; таким образом засечками положений поплавков на верховом и низовом створах достигается проверка правильности засечек по основному створу.

4. В качестве особого приема работы с поплавками, удобного к применению на очень широких реках (весенние разливы по пойме), особенно при малых скоростях течения, можно отметить применение поплавков на ниточке, предложенное и осуществленное (1927 г.) в Управлении Волго-Дона Н. И. Быдиным [1]. В этом случае поплавками служили или бутыли, объемом около 3 000 *см*³, или жестяные цилиндры того же объема с сигнальными шпилями наверху, наполненные водой; к поплавку привязывается тонкая нить толщиной около 0,5 *мм*. Поплавки пускаются с лодки, началом расчетного пути служит выбранная точка на лодке, концом — конец хода поплавка. Поплавок пускается на 1,5—2 *м* выше начала расчетного пути, чтобы при вступлении на этот путь он уже имел бы нормальную скорость. Время

[1] Н. И. Быдин, О точности расходов, определенных поплавками на ниточке, «Известия Государственного гидрологического института» № 55, Ленинград, 1933 г.

вступления поплавка на расчетный участок засекается по секундомеру. По мере хода поплавка нить разбрасывается с таким расчетом, чтобы не тормозился ход поплавка. В конце расчетного пути нить натягивается и поплавок переворачивается; момент натяжения нити, который уловить, правда, не всегда легко, засекается секундомером. Длина нити служит расчетным путем для вычисления скорости. Из опытов Н. И. Быдина определилось, что наилучшие результаты получаются при длине нити, рассчитанной так, что она отвечает 15 сек. хода поплавка. При измерениях возможно также и определение направления струй при помощи буссоли, прикладываемой к ниточке. Измерения в каждой точке нужно производить не менее 3—5 раз и окончательный результат получать как среднее из этих определений для исключения неточностей отдельных измерений. Ошибки для отдельных точек при вычислении всего расхода в значительной мере сглаживаются и в конечном итоге не превосходят обычно допускаемых величин (единицы процентов и лишь изредка 10—12%).

Способ удобен своей простотой, позволяющей применять его даже малоквалифицированными работниками; так, в исследованиях 1927 г. на Дону такие измерения успешно выполнялись партией в составе одного десятника и двух рабочих при одной лодке с 3 якорями; гидрометрический створ имел длину в 8,4 *км* приблизительно при 40 вертикалях, а расход измерялся в большинстве случаев в один день.

§ 88. Обработка полевых данных

1. Все полевые записи по измерениям и наблюдениям за уровнями удобно заносить на бланки особой формы по образцу, приведенному в приложении; порядок записей на бланке ясен из его подзаголовков. По окончании полевой работы полученные в результате работ у реки данные должны быть обработаны немедленно же, до отъезда с места работ.

Должны быть вычерчены: 1) измеренные профили живого сечения реки в масштабах, указанных в § 13, с указанием на профиле глубин и расстояний урезов и промерных вертикалей от магистрали; 2) план-схема участка с нанесением магистралей, створов, длин их и расстояний между ними и направления течения. Чертежи эти выполняются (можно в карандаше) на обыкновенной клетчатке формата писчего листа и прикладываются к бланку измерения расходов.

2. Затем производятся вычисления скоростей течения для каждого из поплавков (см. образец бланка в приложении 3).

3. Далее производится подсчет площадей живого сечения как для основного среднего створа, так и для верхового и низового.

Проще всего (и притом точно) площади живого сечения вычисляются как сумма элементарных площадок, получаемых перемножением полусуммы смежных глубин на расстояния между ними, по формуле

$$\Omega = \frac{h_1}{2}\, a + \frac{h_1 + h_2}{2}\, a' + \ldots + \frac{h_n}{2}\, a'', \qquad (99)$$

где h_1, h_2, ..., h_n — измеренные глубины, взятые последовательно; а a, a', ..., a'' — расстояния между ними, обычно одинаковые.

4. Для рек шириной до 20 *м* с более или менее быстрым течением, т. е. в тех случаях, когда ограничиваются измерением одних наибольших поверхностных скоростей, вычисление расхода ведут следующим образом:

Расчетная площадь находится как средняя из суммы площадей верхового, низового и удвоенной площади среднего створа:

$$\Omega_{расч} = \frac{\Omega_{верх} + 2\Omega_{ср} + \Omega_{низ}}{4}. \qquad (100)$$

Площадь среднего створа вводится в расчет вдвойне в соответствии с двойной частью (по сравнению с иными створами) тяготеющего к ней пути хода поплавка.

Расчетная скорость $v_{ср}$ находится путем помножения полученной максимальной поверхностной на некоторый коэфициент K:

$$v_{ср} = v_{max} \cdot K. \qquad (101)$$

Коэфициент K имеет различные значения в зависимости от величины гидравлического радиуса основного створа и характера русла.

Гидравлический радиус R равен $R = \frac{\Omega}{p}$, где Ω — площадь живого сечения, p — длина смоченного периметра.

Допустимо вместо гидравлического радиуса определить просто среднюю глубину сечения, обычно весьма близкую к R.

Что касается характера русла, то можно различать 2 главных случая: 1) земляное русло в обычном состоянии с возможным присутствием мелких галечных отложений или с весьма слабым присутствием растительности; 2) русло, оказывающее сильное сопротивление движению воды, со значительными водорослями, скалистым дном с валунами или крупной галькой.

Наилучшие результаты для K дает формула Базена:

$$K = \frac{C}{C + 14}, \tag{102}$$

где C — коэфициент Шези, т. е. по Базену

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}. \tag{103}$$

Взяв для коэфициента шероховатости γ, применительно к указанным выше двум главным случаям, значения в 1,30 и 1,75, получим для этих случаев такие значения K:

ТАБЛИЦА 17

Гидравлический радиус	Значения K		Гидравлический радиус	Значения K	
	обычное земляное русло $\gamma=1{,}30$	русло заросшее или с камнями и галькой $\gamma=1{,}75$		обычное земляное русло $\gamma=1{,}30$	русло заросшее или с камнями и галькой $\gamma=1{,}75$
0,10	0,55	0,49	0,60	0,70	0,66
0,15	0,58	0,53	0,80	0,72	0,68
0,20	0,61	0,56	1,00	0,73	0,69
0,25	0,63	0,58	1,20	0,74	0,71
0,30	0,65	0,60	1,60	0,75	0,72
0,40	0,67	0,62	2,00	0,76	0,73
0,50	0,69	0,64			

Для горных потоков с сильно каменистым дном величину K следует вычислять по вышеприведенным формулам, исходя из величины $\gamma = 2{,}40$.

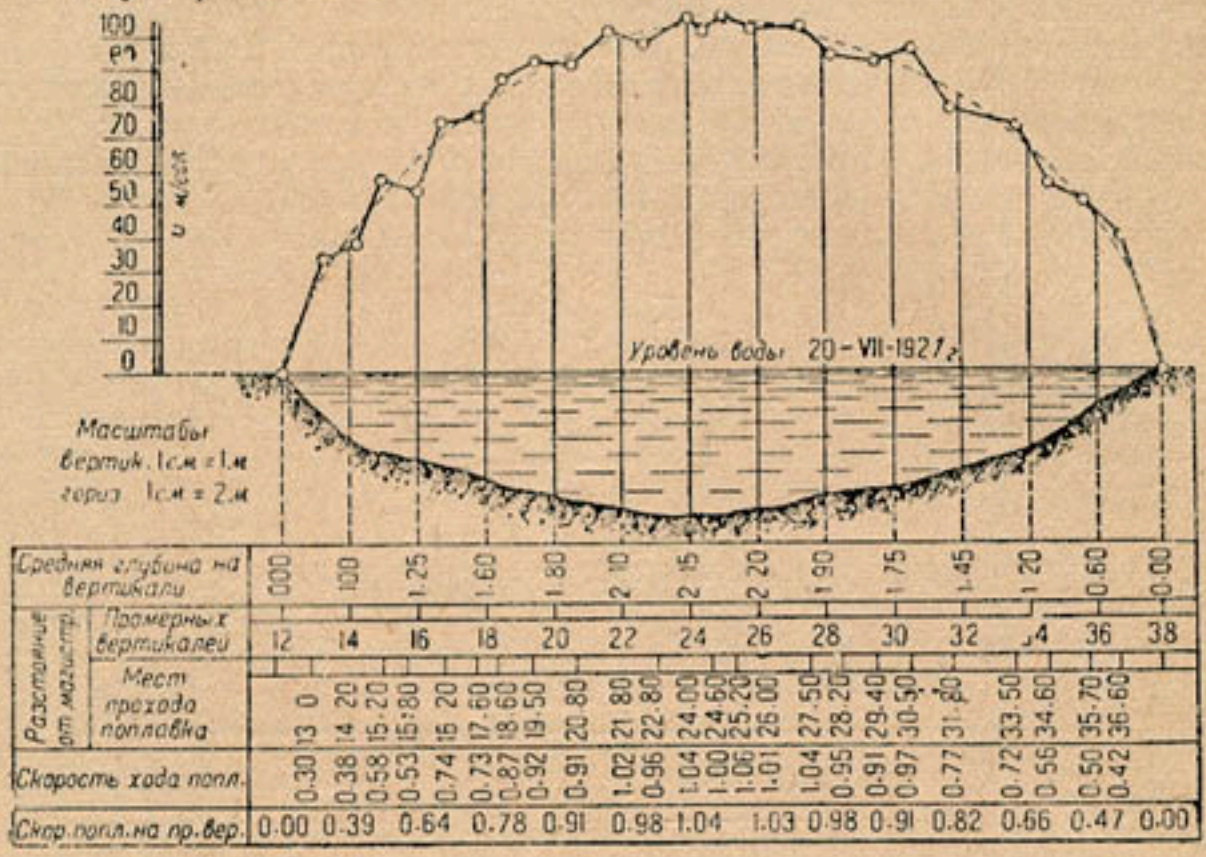
5. Если определены были скорости по всей ширине реки, вычисление расхода производится следующим образом:

Площади живых сечений по створам вычисляются подобно предыдущему. За расчетную площадь живого сечения берется площадь по основному створу; однако должна быть сделана поверка равенства $\Omega_{расч} = \frac{\Omega_{верх} + 2\Omega_{ср} + \Omega_{низ}}{4}$.

При этом разница между $\Omega_{ср}$ и $\Omega_{расч}$ не должна превосходить 4%; если эта разница $> 4\%$, это должно быть оговорено особо. Затем, по вычисленным значениям поверхностных скоростей над чертежом живого сечения для среднего створа строится кривая поверхностных скоростей; для этого откладывают на оси абсцисс расстояния и по оси ординат — скорости в *м/сек* (фиг. 183); эта кривая должна образовать более или менее плавную кривую; отдельно выпадающие случаи выбрасываются из рассмотрения как ошибочные и случайные.

Далее, из построенной кривой поверхностных скоростей берут (по чертежу) скорости, соответствующие промерным вертикалям, выписывая их в нижнюю

графу (фиг. 183) и в соответствующую графу бланка для определения расходов. Затем находят полусуммы этих скоростей, беря их последовательно; эти полусуммы скоростей являются частными поверхностными скоростями для вычисленных элементарных площадок площади живого сечения. Можно расчетные скорости брать непосредственно из чертежа, как отвечающие серединам элементарных площадок между вертикалями.



Средняя глубина на вертикали		0.00	1.00	1.25	1.60	1.80	2.10	2.15	2.20	1.90	1.75	1.45	1.20	0.60	0.00		
Расстояние от маяка (ст.)	Промерных вертикалей	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38		
	Мест прохода поплавка	13 0	14 20	15 20	15 80	16 20	17 60	18 60	19 50	20 80	21 80	22 80	24 00	24 60	25 20	26 00	27 50	28 25	29 40	30 50	31 80	33 50	34 60	35 70	36 60				
Скорость хода попл.		0.30	0.38	0.58	0.53	0.74	0.73	0.87	0.92	0.91	1.02	0.96	1.04	1.00	1.06	1.01	1.04	0.95	0.91	0.97	0.77	0.72	0.56	0.50	0.42				
Скор. попл. на пр. вер.		0.00	0.39	0.64	0.78	0.91	0.98	1.04	1.03	0.98	0.91	0.82	0.66	0.47	0.00		

Фиг. 183. Вычисление расхода, измеренного поплавками.

Перемножив частные поверхностные скорости $v_{пов}$ и площади элементарных площадок ω, получим фиктивный расход $Q_{фикт}$, как сумму этих произведений:

$$Q_{фикт} = v_1\omega_1 + v_2\omega_2 + \ldots + v_n\omega_n = \sum v_i\omega_i. \qquad (104)$$

Действительный расход $Q_{действ}$ находится умножением фиктивного $Q_{фикт}$ на переходной коэфициент K_2, обычно равный 0,85 — 0,90:

$$Q_{действ} = K_2 Q_{фикт}. \qquad (105)$$

Следует отметить, что K_2 могут при неблагоприятных условиях довольно значительно отклоняться от приведенных величин; в литературе имеются указания на колебания K_2 в пределах 0,64 —1,32. Исследования ряда авторов показали, что величина K_2 зависит от ряда факторов; эта величина как будто бы обратно пропорциональна глубине и прямо пропорциональна поверхностной скорости.

Исследования значений K_2 (инж. И. А. Кузника) для ряда малых рек Заволжья показали, что для условий перекатных створов $K_2 = 0{,}85$ весьма близко к действительным соотношениям; для условий же плесов значения K_2 в разных конкретных условиях могут колебаться в весьма больших пределах — от 0,15 до 1,0 (и даже более — в условиях подпора).

Поэтому выбор переходного коэфициента всего целесообразнее по возможности базировать на сопоставлении данных вертушечных и поплавочных измерений, специально и одновременно выполненных на данном участке, хотя бы в числе 3—5 измерений (при разных уровнях).

При тщательном выполнении всех приведенных выше указаний от поплавочных измерений можно ожидать результатов, достаточно точных для практики.

Расходы, вычисленные для случая малых и быстрых рек даже по максимальной поверхностной скорости, могут иметь ошибку лишь менее или около 10%. Точность, определения для всех случаев вообще может лежать в пределах 8—15%.

§ 89. Особенности измерений гидрошестами и интеграторами

Подготовительные работы для измерений расходов гидрометрическими шестами и поплавками-интеграторами аналогичны описанным в § 86 для поверхностных поплавков. Для измерений поплавками-интеграторами правильность русла обязательна не на столь значительном протяжении, как для поверхностных поплавков и гидрошестов; в отличие от измерений поплавками поверхностными и гидрошестами на рабочем участке разбивается в этом случае только два створа — основной и дополнительный низовой.

1. Гидрометрическими шестами измерение скоростей выполняется целиком аналогично поверхностным поплавкам. Нужно иметь в виду необходимость введения поправок в скорости, вычисляемые по формуле $v_m = \frac{L}{T}$ в тех случаях, когда гидрометрический шест погружен в воду на величину меньшую, чем 0,94 H, где H — глубина продольника, по которому передвигается в воде шест [§ 63, формула (52)].

Вычисление расхода удобнее всего выполнять применительно к вычислению такового для поверхностных поплавков, строя (для среднего створа) над чертежом живого сечения (фиг. 183) кривую средних скоростей на вертикалях; из этой последней находят значения средних скоростей, соответствующие отдельным промерным вертикалям; полусуммы этих скоростей, взятые последовательно, будучи умножены на элементарные площадки живого сечения между соответствующими промерными вертикалями, дадут элементарные расходы q_i, и весь расход Q определится, как сумма q_i:

$$Q = \sum v_m^i \omega_i = \sum q_i. \qquad (106)$$

Можно также из кривой средних скоростей на вертикалях по чертежу определять непосредственно средние скорости вертикалей v_m, приходящиеся на середины промежутков между промерными вертикалями; тогда частные расходы q_i найдутся непосредственным перемножением v_m на соответствующие элементарные площадки живого сечения между промерными вертикалями.

Удобно для записей и вычислений применять особые бланки, применительно к бланкам для измерений поверхностными поплавками.

При соблюдении всех нужных условий по выбору места измерений и производству измерений точность результатов измерений расходов при помощи гидрометрических шестов может быть значительно выше той точности, которая свойственна измерениям при помощи поверхностных поплавков и может быть оценена в 4—6%.

2. При применении поплавков-интеграторов измерение скоростей производится на отдельных характерных вертикалях, называемых скоростными; эти вертикали совпадают с промерными вертикалями и размещаются по основному створу так, чтобы расстояния между отдельными скоростными вертикалями были бы при правильном русле примерно одинаковы. При неправильном русле скоростные вертикали следует назначать чаще там, где наблюдаются наибольшие изменения скоростей. Первую и последнюю скоростные вертикали следует брать возможно ближе к берегам. Общее число скоростных вертикалей должно быть не менее пяти, а при ширине реки в пределах 10—15 *м* — около 8—10.

Установка шеста (трубки) поплавка-интегратора осуществляется с лодки, временного мостика на козлах или вброд. Первый пуск шарика делается пробным, чтобы при последующих пусках (выполняемых согласно § 64) отсчет пройденного шариком расстояния по пловучей рейке мог быть сделан более уверенно. Вместо пловучей рейки удобно также применять тросик с пробками, служащими как для поддержания тросика на поверхности воды, так и его разметочными марками. На каждой вертикали выполняется от трех до пяти пусков; за расчетное расстояние l принимается среднее из всех сделанных надежно отсчетов. Следует замечать, применяя транспортир (изготовленный из фанеры, большого размера) направление, по которому располагается пловучая реечка или тросик; расчетная скорость v находится тогда по выражению $v = v' \cos \alpha$, где v' — измеренная скорость;

α — угол отклонения от нормали к створу. Транспортир при этом совмещают его основанием с линией створа.

Обработка полевых данных включает в себя выполнение чертежей применительно к указанному в § 88 и вычисление расходов.

Для вычисления расходов прежде всего вычисляются (по способу, указанному в § 64) средние скорости на скоростных вертикалях $v_1, v_2, v_3, \ldots, v_{n-1}$. Далее, вычисляются частные площади живого сечения между скоростными вертикалями $\omega_1, \omega_2, \ldots, \omega_n$. Вычислив полусуммы скоростей $\frac{v_1}{2}$; $\frac{v_1+v_2}{2}$; $\frac{v_2+v_3}{2}$; $\ldots$ $\frac{v_{n-2}+v_{n-1}}{2}$; $\frac{v_{n-1}}{2}$, причем скорости на точках урезов берега принимаются за равные нулю, искомый расход Q находят по выражению:

$$Q = \frac{v_1}{2} \cdot \omega_1 + \frac{v_1+v_2}{2}\omega_2 + \ldots + \frac{v_{n-2}+v_{n-1}}{2}\omega_{n-1} + \frac{v_{n-1}}{2}\omega_n. \qquad (107)$$

Можно также подсчет расхода вести аналогично тому, как для измерений гидрометрическими шестами.

Удобно для записей и вычислений пользоваться особыми бланками, применительно к бланкам для измерений расходов при помощи поверхностных поплавков.

При соблюдении всех нужных условий измерений точность результатов может приближаться к точным измерениям при помощи вертушек и может быть оценена в 3—5%.

ГЛАВА XVII

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ ПРИ ПОМОЩИ ВЕРТУШЕК

§ 90. Содержание и организация работ

1. Процесс измерения расходов при помощи вертушки обычно включает в себя 2 главные операции: 1) измерение площади живого сечения потока; 2) измерение скоростей на отдельных точках, лежащих на заранее выбранных скоростных вертикалях живого сечения.

По скоростям отдельных точек вычисляются средние скорости для вертикалей; эти последние скорости служат для последующего вычисления всего расхода.

Кроме этого должен быть определен тот уровень, к которому измеренный расход должен быть отнесен.

2. Состав рабочей партии зависит от величины реки и условий предполагаемых измерений.

На реках малых, для измерений летних расходов вброд, необходимы 1 техник-гидрометр и 1 рабочий.

На реках небольших, но при измерениях с лодки по тросу или при зимних измерениях со льда, необходимы 1 техник-гидрометр и 2—3 рабочих.

На реках больших или на малых реках в период половодья, при измерениях с понтона, необходимы 2 техника-гидрометра и 4—6 рабочих.

При половодьи на больших реках необходимый состав рабочей партии для успеха работ может быть еще больший, — в зависимости от ширины разлива и скоростей течения в реке; весьма важную роль в этих случаях играет наличие надлежащих, обеспечивающих удобства и безопасность измерений, пловучих средств, начиная от быстроходных моторных катеров и кончая даже пароходами (на участках с весьма быстрым течением).

3. Оборудование для измерения расходов вертушкой определяется объемом и характером предположенных работ. Для измерений вброд на малых реках в летний период достаточны: 1) малая штанговая вертушка с сухим элементом и телефоном (или звонком); 2) тонкий мерный трос; 3) часы и секундомер; 4) мерная лента или рулетка (стальная); 5) журнал наблюдений, карандаш, перочинный нож, запас клетчатки, тарировочная кривая (или таблица), таблица глубин (§ 97); 6) топор; 7) мелкие инструменты и принадлежности к вертушке: отвертка, масло, запас изолировочной ленты и т. п. Эти же принадлежно-

сти достаточны для измерений с лодки по тросу в случае наличия небольших глубин. При более значительных глубинах необходимы: 1) большая штанговая вертушка с принадлежностями (штанга с башмаком и визиром к ней и лебедкой к вертушке, батарея, провода) или вертушка тросовая с соответствующим оборудованием (тросы, запасный груз, лебедка); 2) наметка и лот; 3) счетчик оборотов; 4) водомерная рейка.

Наконец, при измерениях на больших реках желательно иметь дополнительно: 1) распределительную доску; 2) запасные батареи; 3) мензулу, теодолит или другой угломерный инструмент для засечек положения вертушки на створе; 4) бинокль.

Кроме этого необходимо иметь пловучие средства, якори, снасти и устройства для установки вертушки на вертикалях.

4. Для получения правильных результатов при применении вертушки, должно иметь место: 1) правильный выбор участка для измерений; 2) надлежащий выбор створа измерений; 3) надлежащий выбор вертикалей для измерений; 4) достаточное число точек измерений на каждой вертикали; 5) достаточная продолжительность наблюдений в каждой точке; 6) хорошее состояние вертушки и надлежащее ее применение; 7) соответствующее надлежащее состояние оборудования для измерений. При несоблюдении ряда указанных условий вертушка, даже новейшей конструкции, может давать неудовлетворительные результаты.

5. При организации измерения расхода особое внимание необходимо обратить на правильную расстановку сил, четкое распределение обязанностей и надлежащую последовательность выполнения всех этапов работы без излишней спешки и суеты. Стахановские методы работы должны быть приняты в основу как организации, так и выполнения работ.

§ 91. Подготовительные работы

1. Состав подготовительных работ по измерению расходов вертушкой складывается в общем случае из следующих работ:

1) выбор места и участка для измерений;
2) выбор направления створного сечения;
3) проверка действия вертушки и принадлежностей;
4) организация наблюдений за уровнями и уклонами;
5) промеры русла по створу;
6) назначение числа скоростных вертикалей;
7) обозначение скоростных вертикалей.

2. В случае стационарных измерений, систематически приурочиваемых к одному и тому же заранее выбранному пункту реки — гидрометрическому створу, — операции, указанные выше под цифрами 1 и 2, выполняются один раз — в начале организации гидрометрического створа и в соответствии с указаниями § 20, 21 и 52.

В этом случае, в особенности, если предварительно установлена неизменяемость русла на участке, работы 5, 6 и 7 предыдущего пункта также выполняются по однажды установленному шаблону. При этом руководствуются имеющимся чертежом створного сечения, о котором говорилось в § 52.

3. В случае измерений временного характера, приурочиваемых к местам, где отсутствуют постоянные гидрометрические створы, выполнение вышеуказанных операций 1 и 2 производится непосредственно перед измерениями расхода, в общем согласии с вышеуказанными правилами; само собой разумеется, что в этом случае условия выбора участка и способы его закрепления могут быть значительно облегчены по сравнению с изложенными в § 21 и 52 и должны быть согласованы со специальной целью, объемом и предполагаемой продолжительностью намечаемых измерений.

4. Поверка действия приборов должна быть выполнена в связи с тем, что перевозки вертушки и принадлежностей к ней, особенно по грунтовым дорогам, могут иметь последствием ряд механических нарушений составных частей. Поверка производится в соответствии со сказанным в § 73.

Необходимо поверку приборов выполнить до приступа к работам, например, накануне измерения расходов.

Кроме вертушки и принадлежностей к ней необходимо проверить исправность всего иного оборудования — пловучих средств, снастей и пр.

5. Приступая к измерениям, связанным с определением расхода, следует организовать возможно частые наблюдения за уровнями. Если есть переносный лимниграф (§ 31), лучше всего воспользоваться им для непрерывной записи уровней.

В противном случае для измерений уровней должен быть назначен специальный рабочий или десятник.

Отсчеты высоты уровня в реке следует производить перед началом и в конце промеров, далее, перед приступом к измерениям скоростей и при переходе от одной скоростной вертикали к последующей. Момент перехода от одной вертикали к другой может быть сообщен наблюдателю за уровнями при помощи условленных сигналов. Если в гидрометрическом створе имеется водомерный пост, то наблюдения ведутся по установкам поста. В противном случае наблюдения выполняются по временному колу, забиваемому вблизи берега в створе и связываемому нивелировкой с основным репером створа; одновременно необходимо организовать хотя бы более редкие (например, через каждый час), но непрерывные наблюдения на ближайшем основном водомерном посту. По окончании работ записи береговых наблюдений за уровнями воды переносятся в бланк для измерения расходов. На небольших реках при низкой и средней воде отсчеты уровней следует делать с точностью до 0,5 *см*, в остальных случаях — в целых сантиметрах.

6. Промеры русла по створу производятся в согласии с указаниями § 8—14 (см. табл. 1 в § 9).

В результате промеров (независимо от имеющегося чертежа постоянного створа в случае измерений на нем) должен быть составлен эскизно поперечный профиль реки по створному сечению (на клетчатке в карандаше); в случае измерений на постоянном створе новый чертеж сличают с имеющимся, обращая внимание на то, имеют ли место какие-либо изменения.

В случае заведомо неизменного дна и постоянного створа выполнение промеров может быть соединено с измерениями скоростей. Точно так же выполнение промеров может вестись одновременно с измерением скоростей при наличии сильных колебаний уровней.

Кроме профиля по створу необходимо иметь план полосы створа (§ 22) шириной 10—20 *м* для малых рек и 20—50 *м* — для больших рек.

7. Необходимо обеспечить перед измерением расхода также измерения уклона реки; эти измерения желательно производить дважды — перед измерением расхода и после этого.

§ 92. Назначение числа скоростных вертикалей

Выбор числа и расположения вертикалей производится на основе составленного по промерам русла чертежа поперечного сечения реки по створу предположенных измерений и плана полосы створа (см. выше), для того чтобы можно было учесть характер дна также в непосредственной близости от створа. Чем больше число скоростных вертикалей, тем с большей точностью может быть определен расход. По соображениям практического характера число вертикалей всегда следует выбирать такое, чтобы измерение расхода можно было закончить в один день; в противном случае следует применять несколько вертушек для одновременной работы на разных вертикалях.

Число скоростных вертикалей обычно в зависимости от ширины реки колеблется в пределах от 4—15.

Приближенно можно принять следующие соотношения межд шириной реки B (в метрах), наименьшим числом вертикалей N и средним расстоянием между вертикалями b (табл. 18).

При ширине реки большей, чем 2000 *м*, желательно применять для измерений несколько вертушек так, чтобы на каждую вертушку приходилось не больше 15 вертикалей.

Если русло реки имеет плавное и симметричное очертание, вертикали удобно размещать равномерно по сечению реки, т. е. через равные промежутки. В случае неправильности в профиле русла и неправильностей в распределении скоростей, вертикали следует располагать в точках перегибов очертаний дна в соответствии с чертежом данных промеров русла.

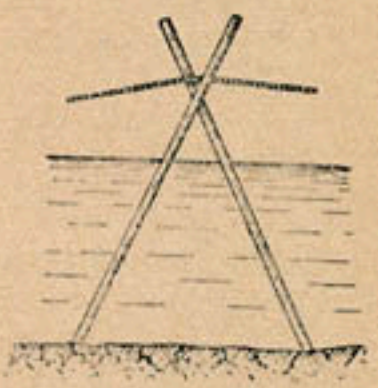
ТАБЛИЦА 18

B	N	b	B	N	b
До 10 *м*	4—6	0,5—2	200—400	8—11	30—40
10—50	5—7	2—8	400—600	10—13	40—50
50—100	5—7	12—15	600—1 000	12—15	50—70
100—200	6—8	20—30	1 000—2 000	15	70—140

Как общее правило, рекомендуется у берегов намечать вертикали чаще, передвигая первую и последнюю вертикали к урезу воды так близко, насколько это возможно для работы вертушки.

§ 93. Обозначение вертикалей

1. Скоростные вертикали нумеруются, начиная от № 1, считая номера от начальной точки створного сечения (§ 52), причем за № 1 принимается вертикаль, ближайшая к начальной точке при наивысшем уровне воды. Дополнительные вертикали, которые иногда могут быть назначаемы помимо установленных ранее основных, обозначаются номером ближайшей предшествующей основной вертикали с указанием расстояния до нее (например, № 9 + 5 *м*). Другой возможный порядок обозначения вертикалей — цифрами, соответствующими расстоянию их от начальной точки промеров, например, от планового репера № 1 или от створного кола № 1, на которых закрепляется нулевое деление промерного троса.



Фиг. 184. Рогатка из жердин.

2. Обозначение вертикалей в створном сечении осуществляется обычно тремя следующими путями:

1) при помощи мостика; 2) при помощи каната или троса; 3) при помощи косых створов.

3. Мостики, перекидываемые поперек русла потока и служащие как для измерения горизонтальных расстояний до вертикалей, так и для установки гидрометрических приборов, удобно осуществлять лишь для каналов и небольших речек и рек. Их конструкция и способы устройства описаны подробнее в § 53. Точки промеров глубин и измерения скоростей отмечаются на мостиках непосредственно по рулетке или мерной ленте.

4. На реках шириной до 200—300 *м* — редко до 600 *м* — в створе на период работы натягивается размеченный стальной трос. На нешироких речках перетягивание бечевы или троса через реку осуществляется при помощи мускульной силы рабочих; в случае более значительных ширин следует применять лебедку или ворот, чтобы возможно уменьшить стрелу провеса. На широких реках приходится поддерживать канат или промежуточными лодками, устанавливаемыми в створе на якоре через 100—200 *м* (см. выше фиг. 7), или поплавками-буйками; на реках неглубоких и с медленным течением промежуточными точками опоры для троса могут служить рогатки из жердей, забиваемых накрест (фиг. 184).

На реках судоходных следует иметь в виду необходимость устройства, позволяющего быстро открыть свободный ход судну; в этом случае удобно устанавливать для перетягивания троса столь высокие столбы, чтобы на момент прохода судна можно было поднимать трос выше верхней палубы судов (при помощи лебедок) (фиг. 185), или же приходится в соответствующие моменты временно затапливать трос в воду, на дно реки.

При большом провесе троса можно вводить поправки на этот провес.

При желании измерять расстояния с точностью до $n\%$, допускаемая величина провеса h определяется из соотношения

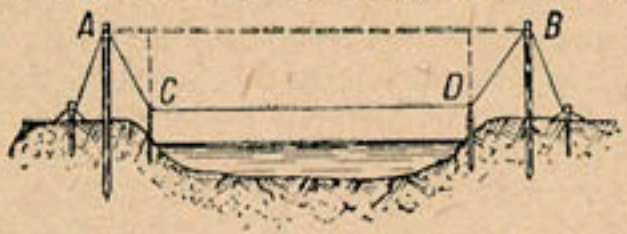
$$\frac{n}{100} B = \frac{8h^2}{3B},$$

откуда

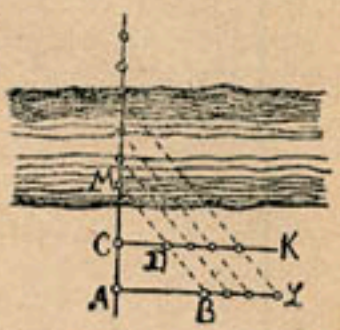
$$h = 0{,}06\, B \sqrt{n}, \qquad (108)$$

где B — расстояние между точками подвеса, т. е. при желаемой точности в измерениях расстояний в 0,1% и при ширине реки в 100 *м* получаем допустимую величину провеса в 1,9 *м*.

5. Если применение троса невозможно, то определение положения вертикалей в створном сечении производится при помощи косых створов.

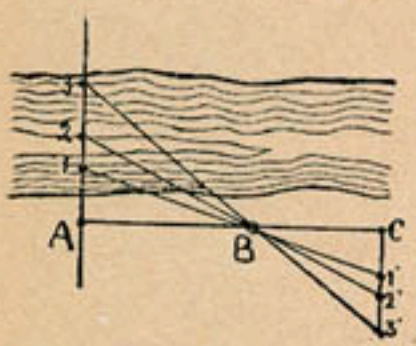


Фиг. 185. Укрепление троса на судоходных реках.



Фиг. 186. Схемы разбивки створов для обозначения вертикалей.

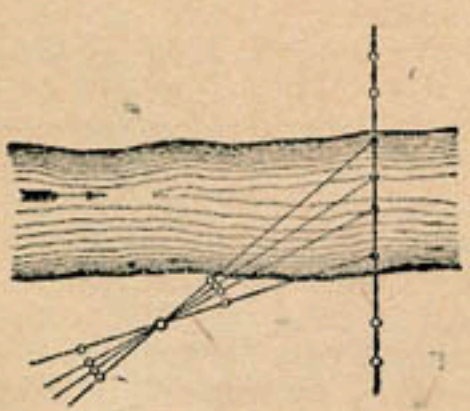
Удобны способы, изображенные на фиг. 186, 187 и 188. В первом случае перпендикулярно к направлению створного сечения разбиваются 2 параллельные линии, и на них устанавливается ряд вех с цветными флажками так, чтобы вертикали находились на пересечении створного сечения с направлением, проходящим через 2 соответствующие вехи, обозначенные флажками одного и того же цвета; во втором способе створ образуется двумя вехами, причем одна веха является общей для всех створов и носит название центральной.



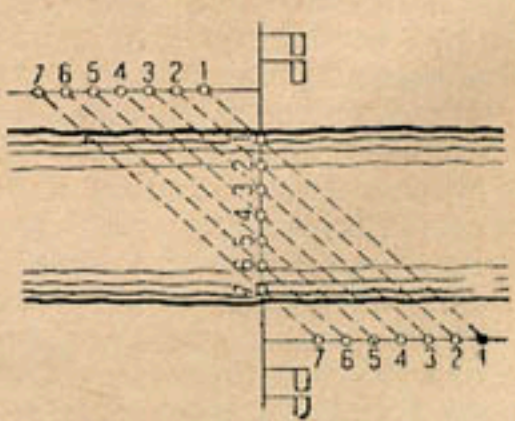
Фиг. 187.

При схеме фиг. 186 разбивку точек на местности можно выполнять при помощи ленты и экера, исходя из таких соотношений (фиг. 186):

$$\frac{AB}{CD} = \frac{AM}{CM}; \quad AB = \frac{CD}{CM} \cdot AM = \frac{CD}{CM}(CM + AC),$$



Фиг. 188.



Фиг. 189.

Фиг. 187 — 189. Схемы разбивки створов для обозначения вертикалей.

где CM — расстояние от точки C магистрали до любой вертикали; AC — взятое расстояние между магистралью CK и параллельным ей створом AL.

Величину CD удобно брать около 0,5—1,0 от величины CM; величину AC следует брать не менее 5—8 *м*.

При схеме по фиг. 187 разбивка точек на местности может быть сделана весьма просто, исходя из таких соотношений (фиг. 187):

$$\frac{A3}{AB}=\frac{C3}{BC},\ \text{т. е. } C3=\frac{BC}{AB}\cdot A3,$$

т. е. расстояния $C1$, $C2$, $C3$ и т. д. должны быть равны последовательно расстояниям $A1$, $A2$, $A3$ и т. д., умноженным на соотношение BC к AB. Так, при BC, равном 0,5 AB, удаления вех *1*, *2*, *3*... от точки C определятся, как половины известных нам расстояний $A1$, $A2$, $A3$..., т. е. расстояний до промерных вертикалей от магистрали.

Расстояние AB следует брать не менее 0,5 ширины реки (плюс к последней расстояние от магистрали до уреза) во избежание острых углов в створах по отношению к створному сечению.

Произведенную на местности разбивку удобно закреплять прочно забитыми кольями, обозначив эти колья номерами, отвечающими нумерации вертикалей. Тогда при производстве работ можно устанавливать вехи, отвечающие нужной скоростной вертикали, только на время выполнения измерений именно на этих вертикалях.

Аналогично схеме створов по фиг. 187 можно для большей компактности в расстановке вех пользоваться также схемой по фиг. 188; эта последняя схема дает обозначения каждой вертикали при помощи трех вех, из коих одна является центральной. Разбивка точек на местности в этом случае производится аналогично схеме фиг. 187.

При широких реках удобно обозначение вертикалей выполнять разбивкой створов (по одной из предыдущих схем) на обоих берегах; в этом случае створы каждого берега обозначают вертикали ближайшей к данному берегу половины реки.

Возможен также иной способ, показанный на фиг. 189. Здесь параллельные линии разбиваются перпендикулярно к створному сечению на обоих берегах; этот способ менее удобен, чем предыдущие, так как для установки прибора на нужной вертикали необходима помощь наблюдателя с берега; этот способ, однако, удобен на очень широких реках, где установка по створным вехам одного берега не так точна, как по этому способу; кроме того, первые два способа для своего применения требуют наличия открытого и невысокого берега, что бывает не всегда.

В случае, если назначенные скоростные вертикали не совпадают с промерными вертикалями, производятся измерения глубин на них согласно указаниям § 10—14.

§ 94. Способы измерения скоростей на вертикалях

1. В зависимости от порядка, по которому определяется средняя скорость по вертикали, необходимая для вычисления расхода, методы измерения скоростей по вертикалям могут быть подразделены на следующие:

1) о с н о в н о й м е т о д, при котором измерения производятся в ряде точек, не менее пяти, на различных глубинах; между этими глубинами значение скоростей может быть определено достаточно точно при помощи интерполяции;

2) п р и б л и ж е н н ы е м е т о д ы, являющиеся упрощением основного в отношении количества точек, в которых производятся измерения;

3) и н т е г р а ц и о н н ы й метод, заключающийся в определении сразу средней скорости по всей вертикали при помощи передвижения прибора во время наблюдений по всей длине вертикали;

4) д е т а л ь н ы й метод, основанный на непрерывной записи (при помощи хронографа) показаний вертушки во время ее передвижения по вертикали; этот метод дает сразу картину распределения скоростей по вертикали без интерполяции.

Первые два метода наиболее широко распространены и достаточно удобны для обычных целей практики.

2. В о с н о в н о м м е т о д е число точек на вертикали, вообще говоря, берется в зависимости от требуемой точности результатов. Можно указать следующие 3 типа выбора точек на вертикали:

1) Точки выбираются равномерно по высоте вертикали, причем две крайние из них берутся возможно ближе ко дну и к поверхности воды; средние точки назначаются или через определенное расстояние (1 *м* — на Волжских гидрометрических станциях), или через определенную долю глубины вертикали (Америка).

2) Точки распределяются более тесно около дна через определенные расстояния; впервые этот метод был применен при работах на Эльбе (1894): скорости измерялись на высоте 0,15; 0,30; 0,60; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0 и т. д. метров от дна и, кроме того, на расстоянии 0,15 *м* от поверхности воды. Инж. Моисеенко на 1-м *м* от дна намечал точки через 0,20 *м*, на втором — через 0,30 *м* и т. д. и независимо от этого измерял скорости возможно ближе ко дну и к поверхности воды.

3) Точки группируются более тесно как около поверхности, так и вблизи дна — метод, принятый на работах в Венгрии.

У нас в СССР в настоящее время наиболее широкое распространение получил метод второй в такой интерпретации: точки измерений берутся: 1) возможно ближе к поверхности; 2) на 0,2 глубины вертикали (считая от поверхности); 3) на 0,6 глубины вертикали; 4) на 0,8 глубины вертикали; 5) возможно ближе ко дну.

3. Приближенные методы отличаются от основного меньшим числом точек, выбираемых для измерений на вертикалях; этот выбор точек установлен в результате ряда исследований так, что вычисление по ним значения средней скорости v_m на вертикали не требует построения графика скоростей. Обычное положение точек на вертикали в этом случае таково: 1) на 0,2 H и на 0,8 H; 2) на 0,6 H; 3) на 0,4 H для измерений подо льдом [см. выше в § 58 формулы (37), (41), (42), (44)].

Приближенные методы, конечно, уступают по точности основному; их приходится применять в тех случаях, когда ожидаются значительные колебания уровней, или в силу причин чисто технического характера, когда весь цикл наблюдений необходимо закончить скорее, чем это позволяет основной метод (обычно — в один день).

В этих случаях рекомендуется итти комбинированным путем, а именно:

1) измерение по пяти точкам производить через вертикаль, а на остальных точках измерять скорости на 0,8 H и 0,2 H;

2) в крайнем случае работать методом двух точек через вертикаль, а на промежуточных — измерять скорость только в одной точке на 0,6 H от поверхности; при этом следует иметь в виду необходимость последующей поверки, насколько скорость на 0,6 H на взятых вертикалях отличается от средней скорости, определенной по двум точкам.

Во всех случаях отступлений от основного и двухточечного метода необходимо указать причины таковых (в примечаниях к записям).

4. При измерениях подо льдом скорости измеряются или по основному методу, причем тогда средняя скорость на вертикали определяется графоаналитическим способом (§ 58), а не по сокращенным формулам, или двухточечным способом. В последнем случае скорости измеряются на 0,2 H и 0,8 H.

В крайнем случае допускается по указанному способу определять скорости через вертикаль, а на промежуточных вертикалях измерения производить на 0,4 H, т. е. принимать приближенно $v_m = v_{0,4H}$.

5. Интеграционный метод имеет целью непосредственное определение результирующей средней скорости v_m на вертикали путем плавного перемещения вертушки по высоте вертикали; этим имеется в виду уменьшение продолжительности наблюдений и объема последующей обработки. При этом, если вертушка имеет тарировочную кривую в виде прямой линии, можно определять среднюю скорость по вертикали одним измерением, — по среднему за время наблюдений числу ее оборотов в 1 сек.

Интеграционному методу свойственен целый ряд недостатков.

6. Детальный метод отличается от интеграционного тем, что обороты вертушки во время ее перемещения записываются автоматически при помощи хронографа. Это усовершенствование было предложено венгерским инж.

Гайошом. Перья хронографа отмечают на ленте полусекунды и моменты замыкания тока в счетчике вертушки; вал, передвигающий ленту, приводится в движение одновременно с лебедкой, при посредстве коей вертушка поднимается и опускается, так что расстояние, пройденное вертушкой, пропорционально длине израсходованной ленты. Н. Н. Жуковский доказал, что детальный метод должен быть приравнен к интеграционному и отличается от последнего лишь несколько большей точностью; практически же он, помимо неучета пульсации, невыгоден тем, что требует значительной работы по вычислению и построению графиков скоростей и к тому же для применения его нужно наличие хронографа.

В силу изложенного выше практически интеграционный и детальный методы не имеют применения.

§ 95. Продолжительность наблюдений в точках

Как было сказано в § 56, движение текучей воды характеризуется пульсацией, т. е. в каждый момент мгновенная скорость в данной точке, при неизменном горизонте, меняется в некоторых пределах по закону, до сего времени неизвестному. Установлено, что, чем дольше производятся наблюдения, тем устойчивее делается средняя скорость из отдельных мгновенных скоростей. Построив график зависимости средней относительной ошибки от продолжительности наблюдений для ряда характерных точек вертикалей, можно иметь данные для обоснованного выбора необходимой продолжительности наблюдений по принятой допускаемой относительной ошибке. На фиг. 190 приведен пример такого построения по данным исследований на сибирских реках, из сравнений с 20-минутными средними скоростями (кривые D, F и H — измерения близ дна, кривые C и G — близ поверхности). Как видно для данного случая, точности в 2% отвечает продолжительность порядка 3 мин. для поверхности и до 8—10 мин. у дна.

Следует иметь в виду, что средняя ошибка наблюдений зависит не только от пульсации, а вообще от неравномерности движения лопастей, что находится в связи с типом вертушки, типом и весом лопастей и с другими частными условиями. Поэтому приводимые обычно величины цифр продолжительности наблюдений не имеют общего значения.

Основываясь на опытах, которые подтвердили, что ошибки в отдельных измерениях, вызванные пульсацией, могут при значительном числе измерений в различных точках живого сечения взаимно компенсироваться, в практике западноевропейских измерений принято брать значительно меньшую продолжительность наблюдений, чем это указано было выше; так, Ясмунд считал достаточным время установки вертушки в $3^1/_2$—5 мин. Венское гидрографическое бюро считает достаточным 1 мин. и только при неспокойном течении — 3 и больше минут; Швейцарское гидрометрическое бюро принимает норму — 2—$2^1/_2$ мин.; американцы также применяют небольшую продолжительность наблюдений — около 1 мин. и редко больше.

Можно отметить, что при вероятности быстрых изменений уровней непродолжительность наблюдений вполне уместна.

В СССР в настоящее время для определения необходимой продолжительности наблюдений наиболее широко применяются следующие правила:

1. Измерение скорости в каждой точке сопровождается записью числа оборотов через небольшие промежутки времени; после 100—120 сек. наблюдений записи разбиваются (в уме) на два равных интервала, и показания секундомера в конце первой и второй половины измерений не должны отличаться больше чем на 5% от первой из цифр; в противном случае измерения продолжают еще на два промежутка времени и поступают снова по предыдущему.

2. По инструкции Туркестанского водхоза (1930 г.) записи числа оборотов ведутся для интервалов с продолжительностью не меньше 30 сек., причем число интервалов должно быть не меньше четырех; в остальном прием этот аналогичен вышеописанному.

Пример. Число оборотов в интервале взято в 75 (3 звонка). Получены для четырех интервалов следующие отсчеты по секундомеру: 41,0; 82,8; 129,4; 174,0.

Подсчеты по предыдущему идут так:

$$174{,}0 - 82{,}8 = 91{,}2;$$

$$91{,}2 - 82{,}8 = 8{,}4;$$

$$\frac{8{,}4}{82{,}8} \cdot 100 = 10{,}2\%;$$

значит, наблюдения должны быть продолжены еще на два интервала. Пусть получим еще такие отсчеты по секундомеру: 216,3 и 259,7.

Тогда подсчет ведется так:

$$259{,}7 - 129{,}4 = 130{,}3;$$

$$130{,}3 - 129{,}4 = 0{,}9;$$

$$\frac{0{,}9}{129{,}4} \cdot 100 = 0{,}7\%,$$

т. е. наблюдения можно прекратить.

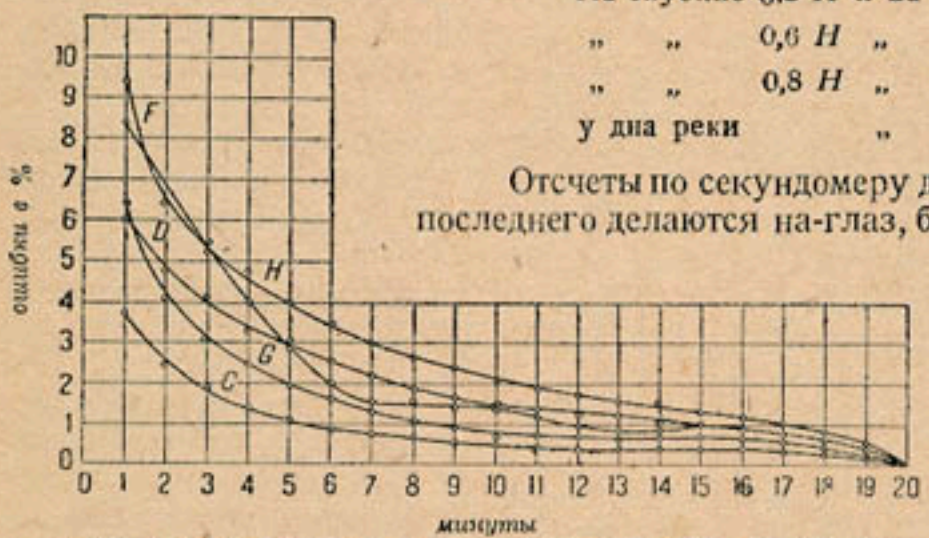
3. В среднем при не очень быстром течении можно пользоваться следующими ориентировочными цифрами продолжительности наблюдений в каждой точке:

На глубине 0,2 H и на поверхности 2 мин.;

" " 0,6 H " " 3 "

" " 0,8 H " " 4 "

у дна реки " " 5 "



Фиг. 190. Зависимость средней скорости от продолжительности наблюдений.

(кривые D, F и H относятся к измерениям вблизи дна реки, кривые C и G к измерениям вблизи поверхности воды).

Отсчеты по секундомеру для всех интервалов кроме последнего делаются на-глаз, без остановки секундомера (если нет специального секундомера с двумя стрелками). По окончании всех отсчетов секундомер останавливается, и делается отсчет с точностью до 0,2 сек. Отсчеты удобно производить по моменту конца звонка, пользуясь началом звонка как сигналом к нужному для отсчета вниманию. Можно также отсчеты приурочивать к началу звонка, но в течение всей работы обязательно придерживаться только какого-либо одного способа.

§ 96. Общий порядок измерений скоростей

Работу по измерению скоростей рекомендуется производить в тихую установившуюся погоду, начиная с утра, и вести ее с таким расчетом, чтобы окончить все измерения скоростей в тот же день.

Последовательно получаемые результаты измерений должны аккуратно записываться в книжку или бланк особой формы (§ 97).

Перед приступом к измерению скоростей, после выбора скоростных вертикалей, следует вычислить глубины погружения оси вертушки для каждой вертикали, считая от поверхности воды (§ 97).

Измерение скоростей начинают с первой вертикали у одного из берегов. При твердом грунте дна измерение можно начинать безразлично сверху или снизу. На мягких же размываемых грунтах рекомендуется при применении штанговой вертушки измерения производить снизу вверх, т. е. начинать измерения от дна, так как в противном случае происходящие у поддона штанги размывы могут повлиять на результаты измерений в придонной точке вертикали.

Закончив измерения на одной вертикали, переходят к следующей.

Вертушку следует устанавливать всегда перпендикулярно к направлению створа независимо от направления течения (§ 69). Это легко осуществлять при работе со штанговой вертушкой: вертушку прочно закрепляют на штанге, а на верхней части последней укрепляют

указатель, плоскость коего должна совпадать с плоскостью вертушки; тогда перпендикулярность вертушки к направлению створа легко достигается соответствующей установкой указателя. При тросовой вертушке [1], которая сама устанавливается по течению, в случае, если направление течения струй отклоняется от нормального к направлению створа, следует замечать (хотя бы приближенно) величину угла такого отклонения; затем в вычисленные средние скорости следует вводить поправочный коэфициент, равный косинусу угла отклонения.

Установив вертушку на требуемую глубину, всегда нужно пропустить 1—3 звонка для того, чтобы лопасти вертушки приобрели скорости, соответствующие скоростям течения. Удостоверившись, что вертушка начала работать равномерно пускают в ход секундомер.

Отсутствие звонка, беспрерывный звонок, прерывистый звонок, слишком неравномерные интервалы между звонками указывают на неисправность вертушки или соединений проводки, на засорение вертушки (например, плывущей травой) и др.; в таких случаях необходимо прервать наблюдения и устранить причину неправильностей.

Если крылья вертушки вследствие тихого течения не вращаются на выбранной вертикали у берегов, то следует передвинуть вертушку настолько к середине створа, чтобы крылья начали вращаться, и измерить расстояние до этой новой вертикали (отметив ее особо в записях результатов).

В случае обнаружения отрицательных скоростей (обратных течений) следует: а) определить и записать расстояние до такой точки; б) измерить отрицательные скорости, установив соответствующим образом вертушку и отметив полученные скорости знаком минус.

Для нужд последующих обработок можно рекомендовать перед измерением скоростей измерять у к л о н р е к и у гидрометрического створа. Для этого нивелируются уровни воды у двух точек, взятых выше и ниже створа, на таком расстоянии L одна от другой, чтобы падение (т. е. разница отметок) воды между указанными точками (h) в несколько раз было бы больше возможной ошибки нивелировки; практически, величина h должна быть не менее 4—5 *см*.

В случаях больших рек нивелировку следует производить у обоих берегов реки, располагая точки обоих берегов на створах, перпендикулярных к течению, и для вычисления уклона брать средние из каждой пары отметок урезов у обоих берегов.

В случае наличия у створа пары уклонных постов (§ 15), уклон определяется по разности одновременных отсчетов (производимых с точностью до 0,002 *м*) на рейках этих постов.

§ 97. Порядок записей

Записи, связанные с измерением расхода, должны заноситься на заранее заготовленные бланки (или книжки).

Таковые обычно имеются в печатном виде [2], причем формы их могут отличаться деталями расположения материала, но обычно совпадают по содержанию (приложение 4).

1. П р е д в а р и т е л ь н ы е з а п и с и. Перед приступом к измерению расхода в бланк (или книжку) должны быть занесены сведения такого рода:

1) сведения общего характера, содержащие: а) точные указания о дате измерения; б) данные о месте измерения и местоположении ближайшего водомерного поста; в) характеристику обстановки измерения: состояние погоды, ветер, его направление и сила; состояние русла реки, наличие водоворотов, засоренность воды (мутность, наличие посторонних плывущих тел); г) название (номер, фирма) и конструкция вертушки (штанговая, на тросе), тип, радиус крыльев, число оборотов в интервале между двумя контактами;

[1] Имеются в виду вертушки с горизонтальной осью вращения крыльев; вертушки с вертикальной осью вращения (Прайса), как указывалось, всегда показывают максимальную скорость в точке независимо от их положения в вертикальной плоскости.

[2] Изготовляются они в учреждениях, ведающих организацией и производством гидрометрических работ.

2) уровень воды, при котором начаты измерения независимо от тех записей уровня, которые производятся при измерении скоростей и глубин во все время работ (см. § 91).

2. Записи при измерении глубин. В бланк (или книжку) заносятся также:

1) расстояние вертикалей (промерных и скоростных) от постоянной точки (на магистрали) или уреза;

2) глубины вертикалей, полученные непосредственным чтением по штанге или же по тросу; в последнем случае, при наличии угона троса (§ 8), должны вводиться соответствующие поправки. При употреблении для измерения глубин лебедки со счетчиком, надо отметить показания счетчика глубин: а) при положении оси вертушки на поверхности и б) при положении низа поддона на дне; разность этих отсчетов, сложенная с расстоянием от низа поддона или подвесного груза до оси вертушки, и даст глубину вертикали;

3. Записи подготовительные к измерению скоростей. После производства промеров и выбора скоростных вертикалей, в бланк (или книжку) заносят вычисленные для измерения скоростей глубины погружения оси вертушки, например на 0,2, 0,6 и 0,8 глубины вертикали. Последние вычисления выполняют обычно при помощи заранее составленных таблиц или расчетных графиков. При применении счетчика глубин к вычисленным значениям $0{,}2H$; $0{,}6\ H$ и $0{,}8\ H$ прибавляются показания счетчика при положении оси вертушки на поверхности.

4. Записи при измерениях скоростей. При измерении скоростей записывают:

1) число оборотов крыльев вертушки; 2) показания секундомера.

Эти записи удобно вести согласно следующим двум примерам:

ПРИМЕР 1

Глубина точек		Число оборотов лопастей	Продолжительность наблюдений	Глубина точек		Число оборотов лопастей	Продолжительность наблюдений
относит.	абсолютн.			относит.	абсолютн.		
У дна	1,12	50	34″	0,8*H*	0,96	75	38″
—	—	100	1′10″	—	—	150	1′16″
—	—	150	1′47″	—	—	225	1′55″
—	—	200	2′22,2″	—	—	300	2′35,4″

ПРИМЕР 2

№ скоростных вертикалей	Расстояние между вертикалями	Глубина вертикалей в *м*		Состав дна	Глубина точек наблюдений от поверхности		Принятое число оборотов за прием	Продолжительность наблюдений за прием			
					относит.	абсолютн.			II	III	IV
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	2	1,20	—	—	У дна	1,12	50	34″	1′10″	1′47″	2′22,2″
					0,8 *H*	0,96	75	38″	1′16″	1′55″	2′35,4″
					0,6 *H*	0,72	125	40″	1′19″	1′59″	2′38,2″
					0,2 *H*	0,24	—	—	—	—	—
					у поверхн.	0,10	—	—	—	—	—

Продолжение примера 2

		Общая продолжительность наблюдений в секундах	Число оборотов за весь период наблюдений	Число оборотов лопастей в 1 сек.	Скорость течения в *м/сек*	Средняя скорость на вертикали v_m в *м/сек*	$v_m \times h = \omega$
13	14	15	16	17	18	19	20
		142,2 155,4 158,2	200 300 500				

5. Для контроля правильности измерений по окончании наблюдений в каждой точке необходимо построить эпюру распределения числа оборотов вертушки в секунду по вертикали; эпюра эта должна иметь плавные очертания; в противном случае необходимо произвести повторные наблюдения.

§ 98. Особые случаи измерений

К особым случаям измерений расходов следует отнести:

1) измерения в зимнее время — при ледяном покрове и во время ледохода;

2) измерения весенних расходов;

3) измерения на больших судоходных реках.

Во всех этих случаях необходимо применение особых мер, вызываемых свойственными этим случаям условиями.

I. Для зимних измерений расходов необходимо иметь:

1) легкий лом (или пешню) и лопату — для проделывания во льду лунок;

2) ледомерную рейку для измерения толщины льда (§ 40);

3) шест для определения наличия шуги;

4) желательна особая будка-теплушка (§ 53).

Место для производства постоянных зимних измерений может быть подготовлено двояким образом:

1) главный рабочий профиль на всем своем протяжении очищается от снега полосой шириной около 3 *м*, по 1,5 *м* от профиля в обе стороны;

2) по всей длине главного рабочего профиля снеговой покров тщательно сохраняется, и рабочие лунки закрывают особыми щитами, регулируя толщину закрытия так, чтобы лед у лунок имел ту же толщину, что и в естественных условиях.

Оба эти приема имеют в виду устранить уже отмеченное раньше (§ 40) явление более сильного нарастания льда в местах, очищенных от снега; при первом приеме вдоль всего рабочего профиля образуется ровный ледяной гребень, но иногда постоянные лунки размываются и образуют воронкообразные впадины; время от времени следует делать контрольные лунки на новых местах главного рабочего профиля.

Перед производством измерений в пробитых лунках определяются толщина и характер льда согласно сказанному ранее (§ 40) с соответственными записями на особых бланках. Необходимо измерение толщины льда делать не только на рабочем профиле, но и выше и ниже его, в расстояниях от 3 до 20 *м*, в новых для каждого измерения дополнительных лунках, числом не менее числа вертикалей на главном рабочем профиле; такие лунки делаются по профилям, параллельным рабочему профилю.

Кроме определения средней толщины льда дополнительные лунки выясняют наличие в створе или около створа донного и игольчатого льда (шуги). Можно рекомендовать, сообразуясь с американской практикой, начинать работу по измерению зимнего расхода с выяснения этого важного обстоятельства. В случае наличия в сечении шуги больше чем в 20% всего живого сечения необходимо вовсе отказываться от измерений в данном месте, если только есть возможность подыскать другое место, свободное от донного и игольчатого льда, ибо наличие этого последнего затрудняет иной раз даже приближенное вычисление расхода,

не говоря уже о неудобствах самого производства измерений. Определение шуги удобно делать при помощи шеста или троса с уголковой планкой, на конце которой можно определять границу между чистой водой и взвешенным в воде пловучим льдом, захватывая этот последний снизу (§ 40).

Самые л у н к и рекомендуется делать как можно меньше — так, чтобы в них только лишь вошла вертушка; от лунки нужно делать узкую щель вверх по течению, в которую и вводится вертушка для измерений, дабы приблизить ее к условиям, свойственным нетронутому ледяному покрову; щели эти должны быть на месте намеченных вертикалей, положение коих легко определять при помощи размеченного троса или рулетки.

При определении глубины вертикали из измеренной глубины воды вычитается толщина льда под поверхностью воды в лунке; иначе говоря, г л у б и н а в е р т и к а л и с ч и т а е т с я о т н и ж н е й п о в е р х н о с т и л ь д а.

При отсутствии будки-теплушки во избежание замерзания воды на вертушке рекомендуется при работе по окончании измерений на одной вертикали вынимать вертушку из воды только тогда, когда все будет готово к измерениям в следующей лунке, т. е. не держать вертушку на воздухе; намерзший на вертушке лед не следует удалять сколкой при помощи какого-либо острого инструмента во избежание повреждения; оттаивания вертушки ото льда можно достигнуть опусканием ее в воду реки или внесением в теплое помещение.

Измерения скоростей подо льдом производятся применительно к сказанному в § 94, шеститочечным или двухточечным способом; в первом случае дополнительно к обычным пяти точкам берется еще точка на 0,4 *H*. Продолжительность наблюдения обычно берется: у поверхности и у дна — 6 мин., на промежуточных точках — 4 мин.

При зимних измерениях кроме обычных записей на бланке измерений расходов к последнему должны быть приложены на особом бланке записи данных по промерам толщины поверхностного льда и наличия донного подводного льда с указанием их характера, уровня стояния воды в лунках и других, обычных для таких измерений, данных (§ 40).

2. О с о б е н н о с т и и з м е р е н и й п р и л е д о х о д е. При ледоходе измерение расходов при помощи вертушки зачастую осуществить невозможно вследствие возможных аварий с людьми и с приборами.

Можно указать два главных приема для определения расхода при ледоходе. Первый заключается в измерении поверхностных скоростей течения по наблюдениям над движением льдин; второй способ может быть основан на измерении поверхностных уклонов реки. Можно рекомендовать параллельное применение обоих способов.

Для измерения скоростей движения льдин выбирается правильный и прямолинейный участок реки, на котором разбиваются наблюдательные створы применительно к сказанному выше, в § 86, о поплавочных измерениях.

Наблюдения организуются и выполняются применительно к сказанному в § 87; при этом для каждого измерения из всех плывущих льдин техник у угломерного инструмента выбирает какую-нибудь приметную, небольшую, отдельно плывущую льдину и указывает на нее своему помощнику и наблюдателю-сигналисту. Льдины удобнее всего выбирать, следуя от одного берега к другому.

В крайнем случае можно применить упрощенный прием: измерять только поверхностную максимальную скорость по льдинам, движущимся в зоне наибольших скоростей, без засечек теодолитом.

В обоих случаях переход от поверхностных скоростей к средним в сечении делается так же, как и для поплавочных измерений. Записи наблюдений ведутся на бланках для поплавочных измерений (§ 88).

Способ учета расходов при ледоходе по поверхностным уклонам применяется аналогично сказанному далее, в п. 3 настоящего параграфа.

3. О с о б е н н о с т и и з м е р е н и я в е с е н н и х р а с х о д о в. Измерение весенних расходов может отличаться от обычных условий следующим: вследствие весьма быстрого течения и большой загрязненности воды, несущей с затопленной поймы нередко значительное количество всяких инородных тел,

а на малых реках иногда и лед, ни измерения живого сечения, ни определения скоростей в отдельных точках вертикалей могут быть невозможны. Поэтому для таких условий рекомендуется делать промеры живого сечения и нивелировку подлежащей затоплению поймы з а р а н е е, например, при наличии ледяного покрова; иногда промеры выбранного живого сечения производятся после спада высоких вод, а во время самого половодья ограничиваются измерением одних скоростей. Лучше, однако, делать промеры и до и после прохода высоких вод вследствие нередких размывов в пойме и русле.

Скорости в указанных трудных условиях определяются или при помощи пловучих вертушек, или поплавками, или путем наблюдений за плывущими льдинами и другими предметами.

В крайнем случае при неприменимости указанных выше способов определение скоростей заменяется определением уклонов, для чего производится нивелировка заранее установленных реек, или одновременно забитых заподлицо с поверхностью воды урезных кольев, на некотором участке реки такой длины, чтобы разница в отметках конечных точек была в несколько раз больше допустимой ошибки нивелировки; скорости в этом случае определяются по эмпирическим формулам гидравлики (§ 110). Если есть основание предполагать, что на участке измерений имеется поперечный уклон, то нивелировка должна быть произведена с обоих берегов; расчетные отметки в этом случае берутся как средние из отметок обоих берегов. Нивелировка должна быть применена возможно точная (визирование из середины, применение башмаков, установка реек по уровню).

При определении весенних расходов реки, выступившей из берегов и затопившей пойму, следует иметь в виду необходимость выбора такого места для измерений расходов, где бы проходил весь весенний расход в одном или нескольких рукавах (при пересеченной местности) и где бы исключалась возможность обхода этого места частью воды через какие-либо, возможно, даже удаленные, весенние рукава и протоки.

4. На о ч е н ь б о л ь ш и х с у д о х о д н ы х р е к а х при организации измерений прежде всего следует учесть необходимость пропуска через створ судов и пароходов; это нужно иметь в виду при выборе способа обозначения вертикалей и закрепления понтона, чтобы не приходилось во время работы убирать канаты и якори и т. п.

На таких больших реках также не всегда является возможным закончить работу в один день; учитывая это, рекомендуется определять зависимость средней скорости от высоты уровня на каждой вертикали как при повышении уровня, так и при понижении — путем многократных измерений в натуре. По оси ординат откладывают показания рейки, а по оси абсцисс — средние скорости; имея такие кривые для каждой вертикали, легко определить скорости и расход при любом уровне, независимо от того, когда производились измерения на каждой из этих вертикалей.

§ 99. Измерение скоростей батометрами и гидрометрическими трубками

Порядок работы при определении расхода помощью батометра и гидрометрических трубок в общем целиком совпадает с порядком работы при вертушечных измерениях, описанных выше. Так же производятся предварительно промеры живого сечения, назначаются скоростные вертикали, выбираются точки для измерений на отдельных вертикалях и т. п. Измерения скоростей выполняются по

Форма записей при измерениях батометром

Названия скоростных вертикалей	Глубины погружения батометра	Продолжительность наблюдений в секундах	Объем воды, притекшей в батометр Q, в $см^3$	Приток воды в секунду $q = \frac{Q}{t}$ в $см^3$	Скорость в точке измерения V $м/сек$

правилам, изложенным в § 80 и 81. Записи измерений скоростей для измерений батометром удобно выполнять по примерной форме, приведенной выше.

После вычисления скоростей в точках измерений вычисление расхода производится по тем же правилам, что и при вертушечных измерениях. Обычно при измерениях на малых реках, для коих преимущественно пригодны батометры и гидротрубки, применяют упрощенный аналитический способ (§ 104).

В § 80 упоминалось про суммарный способ измерения расходов целым рядом батометров, прикрепляемых на одной штанге на обычно назначаемых глубинах или на равных расстояниях друг от друга.

При надлежащем применении и надлежащих условиях (§ 80) батометры-тахиметры могут давать вполне удовлетворительную точность. Необходимо тщательно следить, чтобы: 1) трубка батометра была направлена перпендикулярно к направлению створа; 2) чтобы трубка батометра была строго горизонтальна.

ГЛАВА XVIII

ОБРАБОТКА ВЕРТУШЕЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

§ 100. Общий порядок обработки

Вычисление элементов расхода должно быть сделано, по возможности, немедленно после производства работ, чтобы в случае каких-либо неувязок можно было разрешить последние непосредственными дополнительными наблюдениями. Во всяком случае рекомендуется сразу же после окончания полевых измерительных работ тщательным просмотром записей убедиться в отсутствии грубых ошибок, могущих быть обнаруженными на-глаз; особое внимание следует обратить на такие элементы: 1) сумма расстояний между скоростными вертикалями должна вместе с двумя расстояниями от крайних вертикалей до урезов берегов давать ширину реки; 2) в записях показаний секундомера разницы последовательно записанных цифр не должны быть больше возможных отклонений, вызываемых пульсацией; 3) по высоте вертикали число оборотов вертушки, приходящееся на единицу времени, должно меняться плавно и постепенно в соответствии с обычным видом графиков скоростей.

При окончательных подсчетах все элементы вычислений должны быть сделаны дважды во избежание арифметических просчетов и ошибок; рекомендуется вторичное вычисление поручать иному лицу для большей надежности их или же производить иным способом, чем первое.

Существуют различные приемы по обработке данных измерений. В соответствии с тем, что тело модели расхода (§ 82) можно разделить для вычисления ее объема сечениями по трем разным направлениям, т. е.: 1) вертикальными и перпендикулярными к площади живого сечения; 2) вертикальными и параллельными площади живого сечения; 3) сечениями горизонтальными и перпендикулярными к плоскости живого сечения, — можно наметить три основных возможных метода вычисления расхода:

1) по графикам скоростей; 2) по изотахам; 3) по эпюрам скоростей.

В практике наиболее распространены способы, основанные на первом из приведенных методов, как наиболее простые и достаточно точные. Более сложны способы второй группы, а способы, возможные по третьему методу, в практике не имеют применения вовсе. Из способов первого метода основным следует считать способ графоаналитический; на следующем месте можно поставить способ графомеханический и, наконец, приближенные аналитические способы, вполне достаточные для малых нешироких рек. Наиболее простым из всех способов является приближенный аналитический способ.

Способы графоаналитический и графомеханический целесообразно применять для обработок измерений, произведенных для более или менее значительных рек и, в особенности, когда измерения скоростей делались не менее чем в пяти точках вертикалей и когда расстояния между скоростными вертикалями могут быть довольно значительными.

Во всех случаях обработка измерений расходов включает в себя такие операции:

1) обработка измерений глубин;

2) обработки скоростных измерений в отдельных точках, а именно: а) нахождение числа оборотов вертушки за 1 сек.; б) переход от числа оборотов к скорости по тарировочной таблице (или кривой);

3) обработки по непосредственному вычислению расхода, которые могут быть выполнены разными путями в зависимости от выбранного метода обработки;

4) установление уровня, отвечающего измеренному расходу как по временному водомерному посту на створе измерений, так и на ближайшем постоянном водомерном посту;

5) установление уровенной характеристики dH, т. е. характеристики фазы, при которой выполнено данное измерение расхода, а также установление уклона реки I;

6) нахождение дополнительных характеристик измеренного расхода: а) площади живого сечения Ω; б) величины средней скорости $v_{ср}$; в) средней глубины живого сечения T; г) смоченного периметра p; д) гидравлического радиуса R; е) отметки среднего дна H_0; ж) коэфициента шероховатости γ.

Чертежи, сопровождающие обработку, могут выполняться в карандаше на миллиметровой бумаге. При округлении цифр соблюдается обычное правило; округление пятерки делается до ближайшего четного числа.

Точность измерения отдельных элементов расходов не превосходит обычно 2—3%. Поэтому нецелесообразно усложнять подсчеты и результаты таковых введением в расчет таких знаков в цифрах, которые не соответствуют точности измерений.

Скорости в отдельных точках и на вертикалях следует вычислять с точностью до 0,001 *м/сек* при возможных расходах величиной меньше 1 *м³/сек* и с точностью до 0,01 *м/сек* в остальных случаях.

Точность вычисления расходов должна соответствовать следующему:

при расходах	меньше	1 *м³/сек*	— до	0,001	(три знака после запятой)
» »	от 1 до 10	»	— »	0,01	(два знака)
» »	» 10 » 100	»	— »	0,1	(один знак)
» »	свыше 100	»	— »	1	(без знака)

Точность вычисления площадей должна соответствовать следующему:

при площади живого сечения	меньше	1 *м²*	— до	0,001	*м²*
» » » »	от 1 до	10 »	— »	0,01	»
» » » »	» 10 »	100 »	— »	0,1	»
» » » »	свыше	100 »	— »	1	»

Средние скорости течения вычисляются с такой же точностью, как скорости в отдельных точках.

§ 101. Обработка глубин и скоростей в точках

Обработка глубин ведется применительно к обычным правилам построения профиля живого сечения (§ 13). Если горизонты промеров были постоянны за время их выполнения, но отличны от горизонта скоростных определений на величину $\pm \Delta h$, то эта поправка вносится во все замеренные глубины. Если за время производства промеров уровни менялись незначительно, то за первоначальный рабочий горизонт промеров принимается среднее арифметическое из уровней в начале и конце промеров. При значительном изменении горизонтов во время промеров удобно построить вспомогательный график наблюденных уровней и по нему взять поправки на избранный горизонт для отдельных групп промеров.

Построенный профиль живого сечения (§ 13) рекомендуется проверить сравнением его с чертежом, имеющимся для постоянных гидрометрических створов (в описании последних), или с результатами предыдущих промеров для иных случаев; понятно, что при таком сравнении надо принять во внимание разницу в рабочих горизонтах сравниваемых профилей; особое внимание следует обратить на совпадение величин ширины реки. При неизменном русле указанное сравнение

профилей позволяет обнаружить ошибки измерений или обработки промеров; при изменяемом русле этим способом устанавливается характер изменчивости русла.

Скорости в отдельных точках вычисляются так: по записям измерений (§ 97, пример 2, графы 15 и 16) находят число оборотов лопастей вертушки, приходящееся на 1 сек.:

$$n = \frac{N}{t}, \qquad (109)$$

где N — число оборотов лопастей вертушки, приходящееся на весь период наблюдений (см. пример, гр. 16), а t — число секунд во всем периоде наблюдений (см. пример, гр. 15).

Так, например, для первой строки примера 2-го в § 97, будем иметь

$$n = \frac{200}{142{,}2} = 1{,}41.$$

Число оборотов n следует находить с точностью до трехзначных цифр.

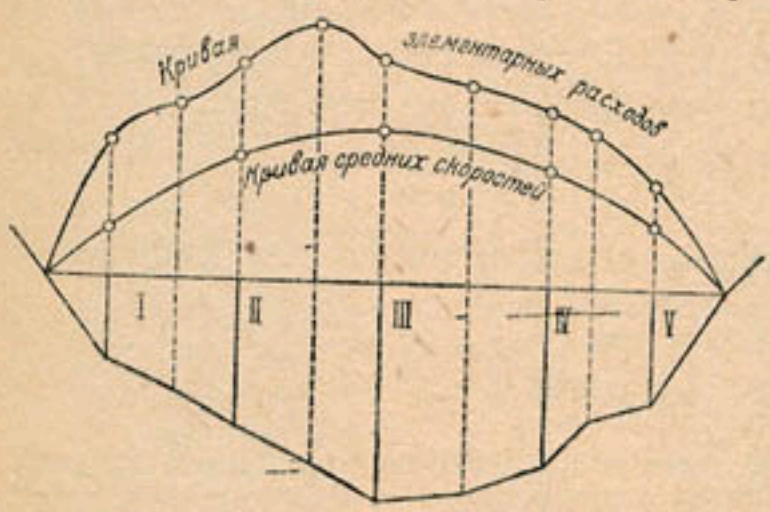
Зная n, соответствующую скорость берут с кривой тарировки или из таблицы тарировки.

Удобнее пользоваться заранее составленной таблицей тарировки (§ 79).

§ 102. Вычисление расхода графоаналитическим способом

Графические построения графоаналитического способа вычисления расхода были предложены впервые Гарляхером, почему они часто и носят название способа Гарляхера.

1. Для вычисления расхода графоаналитическим способом прежде всего нужно определить величины средних скоростей на вертикалях. Эти определения в применении к описываемому способу обычно выполняются также графоаналитическим путем, как это было описано в § 58. Чертежи графиков скоростей располагаются обычно на том же листе, где изображен профиль живого сечения, под последним. От левого (на фигуре) уреза профиля проводят вертикальную ось и задаются на ней масштабами: 1) скоростей и 2) элементарных расходов. Масштаб для скоростей удобно брать согласно указанному в § 58 для графиков скоростей; для элементарных расходов удобно выбирать такой масштаб, чтобы максимальный элементарный расход укладывался на протяжении, не превышающем 10 *см*.

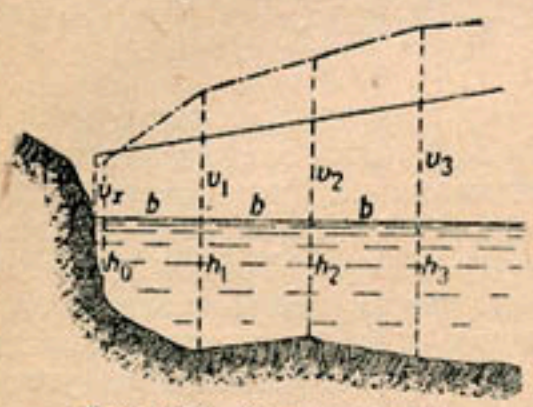


Фиг. 191. Способ Гарляхера.

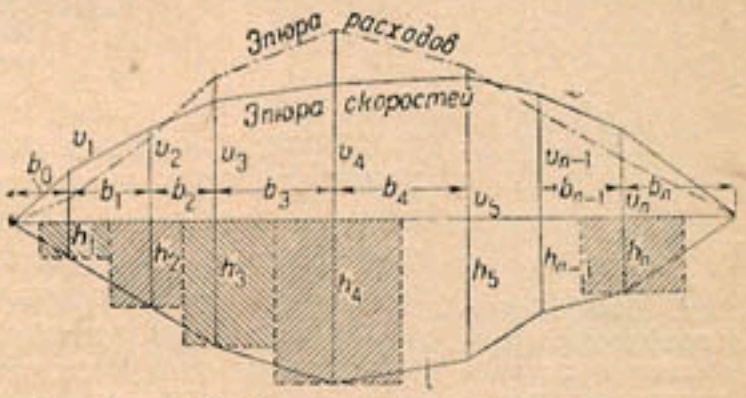
Имея вычисленные по предыдущему значения скоростей на всех скоростных вертикалях, вычерчивают над профилем живого сечения, во взятом масштабе (как показано схематически на фиг. 191), эти значения средних скоростей v_m так, чтобы каждое из них приходилось над соответствующей ему в живом сечении вертикалью; полученная в результате соединения отдельных точек плавная кривая носит название кривой или эпюры средних скоростей. Между крайними вертикалями и урезами берегов эпюра скоростей проводится подобно очертанию дна. Эта эпюра прежде всего служит поверкой правильности измерений и вычислений, ибо ход ее должен в общем отвечать ходу глубин; далее, она может служить для определения средней скорости на любой промерной вертикали.

Помножая значение v_i, соответствующее каждой вертикали, на глубину ее H_i, получаем значения элементарных расходов $q_i = v_i H_i$. Легко видеть, что

физически величины q_i отвечают расходам, проходящим через любую вертикаль в ее плоскости; геометрически величины q_i отвечают площадям графиков распределения скоростей на вертикалях, т. е. площадям годографов; величина q_i имеет измерение в $м^2/сек$. Такие элементарные расходы определяют не только для скоростных вертикалей, но для всех промерных вертикалей; отвечающие этим последним значения v_i берут по чертежу, с эпюры скоростей. Если откладывать полученные значения q_i в выбранном масштабе над соответствующими вертикалями и соединить их плавной кривой, то получается кривая или эпюра элементарных расходов, отражающая в своем ходе влияние перегибов дна и изменения скоростей; форма этой кривой должна быть подобна очертанию поперечного профиля (его зеркальному изображению при вычерчивании эпюры расходов над профилем). Для концевых точек (урезов) принимают значения скоростей или равные нулю, если профиль русла имеет плавное очертание, или же, если берега обрывистые, экстраполируют скорости от двух последних вертикалей. Графическая экстраполяция осуществляется путем продолжения имеющегося направления скоростей на двух ближайших к берегу вертикалях.



Фиг. 192. Экстраполяция скоростей.



Фиг. 193. Схема к вычислению расхода графоаналитическим способом.

Крайне важно, чтобы у берегов, где скорости близки к нулю и вертушкой не улавливаются, были проделаны измерения скоростей поплавками. Эти данные позволяют уточнить очертания эпюры расходов у берегов.

Можно также воспользоваться аналитическим выражением (фиг. 192):

$$v_x = v_1 - \frac{b_0}{b_1}(v_2 - v_1). \qquad (110)$$

Для удобства вычислений под профилем живого сечения помещают три горизонтальные графы, в которые записывают последовательно: 1) глубины вертикалей; 2) значения v_m; 3) значения q_m.

Площадь, ограниченная эпюрой элементарных расходов и осью абсцисс ее, за каковую обычно принимается горизонт воды, определяет собой полную величину расхода Q. Это видно из выведенного в § 82 общего выражения для величины расхода Q:

$$Q = \int_0^h \int_0^l v \cdot dh \cdot dl. \qquad (111)$$

В описанных построениях каждая ордината эпюры элементарных расходов $q_m = q_i$ имеет величину (§ 57)

$$q_m = q_i = \int_0^h v \cdot dh,$$

т. е. графически выполняется первое интегрирование выражения (111).

Определение площади построенной эпюры расходов равносильно вторичному интегрированию, т. е. такому действию:

$$Q = \int_0^l q_m \cdot dl$$

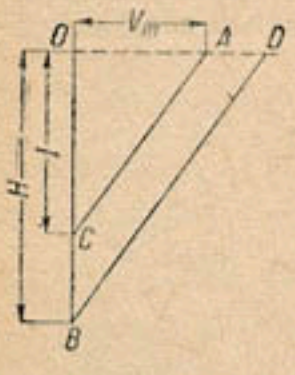
Площадь, представляющую искомую величину расхода, можно вычислить аналитически по формуле:

$$Q = \sum_{m=1}^{m=n} q_m \cdot \frac{b_{m-1} + b_m}{2}, \qquad (112)$$

где

$$q_m = v_m \cdot h_m;$$

причем v_m — средняя скорость на вертикали; h_m — глубина вертикали; b — расстояния между вертикалями (фиг. 193).



Фиг. 194. Схема к графическому нахождению элементарного расхода.

Вместо общей формулы (112) можно также для вычисления расхода исходить из выражения

$$Q = \sum_{m=1}^{m=n} \frac{q_{m-1} + q_m}{2} b_{m-1}, \qquad (113)$$

т. е. находить расход как сумму элементарных расходов, составляющихся из произведения полусуммы элементарных расходов по двум смежным вертикалям на расстояние между этими вертикалями. Расходы крайних отсеков в этом случае вычисляются по формуле треугольников. Удобно площади этих последних помножать на скорость, снятую с эпюры скоростей для центра тяжести данной площадки; центр тяжести может быть найден графически на пересечении медиан углов того треугольника, которым приближенно заменяют крайний отсек.

2. Гарляхером был предложен графический способ перемножения значений средних скоростей на соответствующие им глубины вертикалей, т. е. нахождения элементарных расходов.

Если взять два направления — OD и OB (фиг. 194) — и отложить на одном величину $H = OB$, а на другом $v_m = OA$, а затем на OB отложить отрезок OC, равный 1; точку C соединить с A и через точку B провести $BD \parallel CA$, то треугольники COA и BOD будут подобны. Из подобия этих треугольников следует

$$\frac{OD}{OB} = \frac{OA}{OC}$$

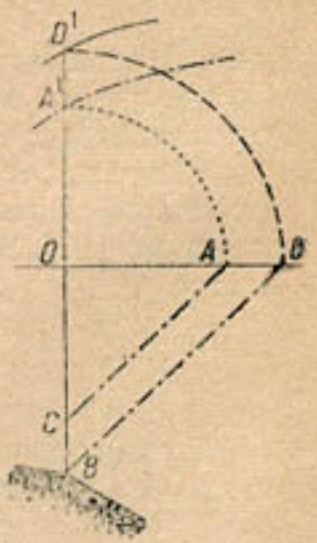
или

$$\frac{OD}{H} = \frac{v_m}{1},$$

т. е.

$$OD_m = H \cdot v_m = \omega = q,$$

т. е. отрезок OD изображает величину элементарного расхода через вертикаль H в условном линейном масштабе, одинаковом с принятым для построения.



Фиг. 195. Схема графических построений для нахождения q_m.

Величина OC носит название базиса построения.

Такое построение удобно производить на том же чертеже, где строятся эпюры (фиг. 195).

Для этого, как показано на фиг. 195, прежде всего на вертикальной оси — вниз от оси абсцисс для эпюр, откладывают величину базиса — единицы измерений, причем, если масштаб для глубин принят в $\frac{1}{a}$, для средних скоростей в $\frac{1}{b}$ и для элементарных расходов $\frac{1}{c}$, то $OC = \frac{c}{ab}$, как это можно легко вывести из вышеприведенного соотношения: $\frac{OD}{OB} = \frac{OA}{OC}$.

Пусть, например, имеем масштабы: для глубин 1,00 *м* в 0,01 *м* $\left(\frac{1}{100}\right)$, для скоростей — 0,10 *м/сек* в 0,01 *м* $\left(\frac{1}{10}\right)$, для элементарных расходов — 0,20 *м²/сек* в 0,01 *м* $\left(\frac{1}{20}\ м\right)$; тогда имеем $a = 100$; $b = 10$; $c = 20$ *м* и величина OC определится так:

$$OC = \frac{20}{100 \cdot 10} = 0{,}02\ м = 2\ см,$$

т. е. величина базиса OC при принятых масштабах равна 2 *см*. Найденная величина базиса OC принимается за постоянную для всех последующих вертикалей; отдельного откладывания ее на каждой вертикали легко избежать, проведя через точку C горизонтальную прямую, параллельную оси абсцисс. Затем расстояние от оси абсцисс до эпюры средних скоростей $OA' = v_m$ переносится на ось абсцисс в положение OA; через точку B — дно реки — проводится линия BD, параллельная AC, и отрезок OD переносится на вертикальную ось в положение OD'; D' и будет точкой эпюры элементарного расхода.

В выбранных масштабах

$$OA = \frac{v_m}{b};\quad OB = \frac{H}{a};\quad OD = \frac{OB \cdot OA}{OC};$$

$$OD = \frac{v_m \cdot H}{c} = \frac{\omega}{c} = \frac{q}{c}.$$

Удобнее, однако, определять масштаб, при котором кривая элементарных расходов помещается в пределах листа чертежа, путем обратного графического построения.

Для этого сначала намечается наибольшая для всего профиля величина OD', и по ней аналогично указанному определяется величина базиса OC.

3. На фиг. 196 дан стандартный чертеж расположения отдельных элементов графоаналитического способа, применяемый Государственным гидрологическим институтом (ГГИ).

4. Выше описан наиболее детальный графоаналитический способ вычисления расхода. Для упрощения вычислений можно применять прием, рекомендуемый Государственным гидрологическим институтом. Этот прием сводится к следующему:

С построенной эпюры скоростей снимаются значения для точек, лежащих на равноотстоящих промерных вертикалях, и выписываются в заготовленной по предыдущему под чертежом таблице (фиг. 196). Желательно, чтобы число используемых промерных вертикалей было не менее 20 для малых рек и не менее 60 для больших. Если какой-либо равноотстоящий промер был почему-либо пропущен, то его значение восстанавливается по прямолинейной интерполяции.

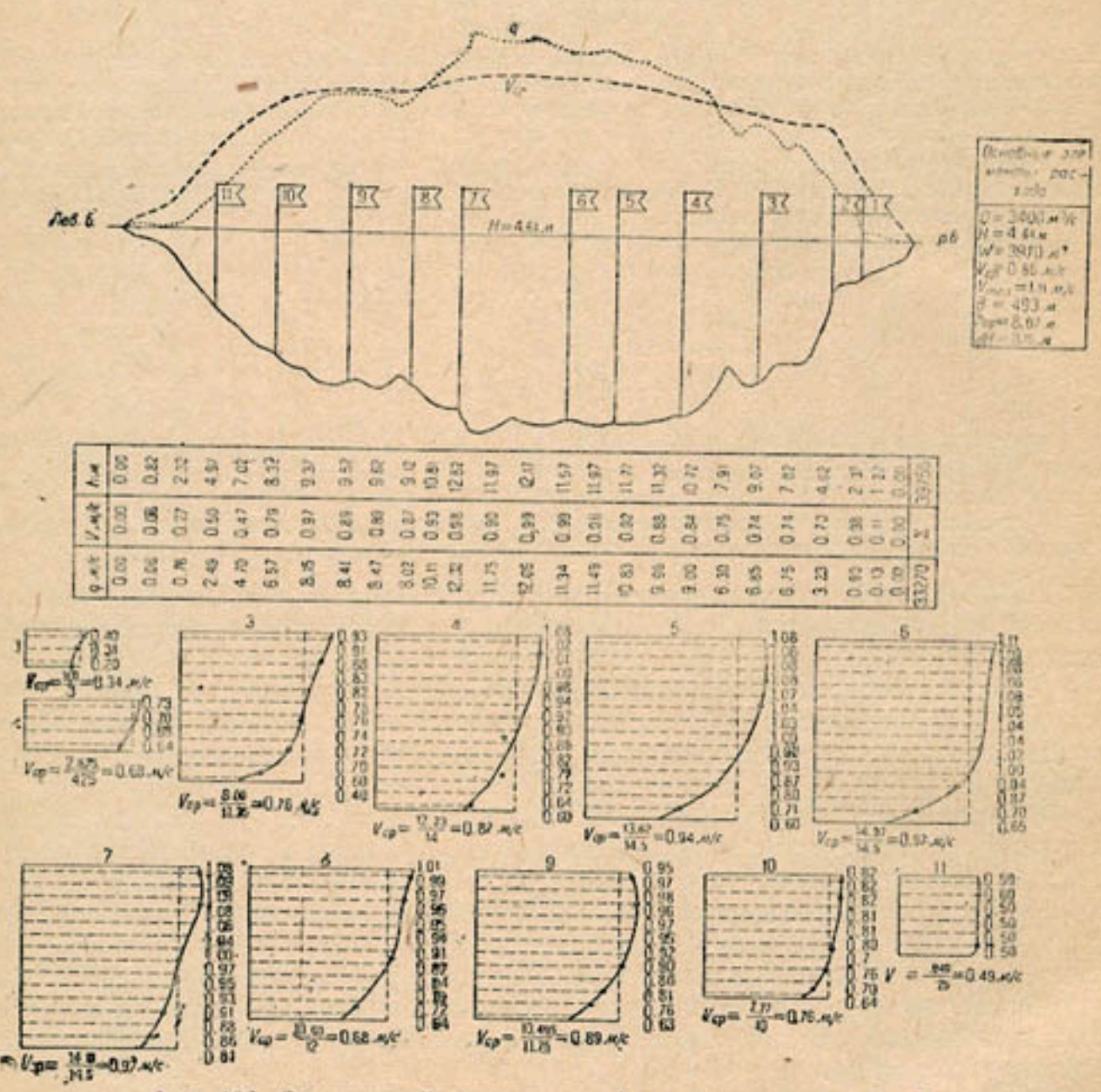
Далее, путем соответствующего перемножения всех значений v_m на H находят и выписывают в следующей графе таблицы (под фигурой) величины элементарных расходов q_m.

Для контроля этих цифр строится затем эпюра элементарных расходов. Величина полного расхода получается суммированием (на счетах или арифмометре) всех выписанных значений q_m и помножением полученной суммы на Δb, т. е. на расстояние между равноотстоящими расчетными вертикалями, т. е. имеем

$$Q = (\Sigma q_m) \cdot \Delta b. \qquad (114)$$

Результат получается приближенным, ибо: 1) каждый элементарный расход, распространенный на соответствующую ширину Δb, на самом деле изображается не прямоугольником и даже не трапецией, ограниченной сверху прямой, а более сложной площадкой, ограниченной параболической дугой; 2) для нахождения площади фигуры, принимаемой за трапецию, следовало бы взять среднее арифметическое из соседних промеров и его умножить на скорость, соответствующую середине интервала ширины, а не пользоваться непосредственно самими величинами промеров; 3) две крайние площадки от берега являются не трапециями, а треугольниками (т. е. эти площадки должны выражаться произведением $v_m \frac{h}{2}$). Несмотря на перечисленные неточности, в связи с тем, что разные знаки этих неточностей в весьма значительной степени компенсируют их, описанный способ подсчета при

достаточно большом числе расчетных вертикалей дает вполне удовлетворительные результаты и имеет в то же время несомненное достоинство значительной простоты всех вычислительных операций. При малом числе расчетных вертикалей, а именно, меньшем 20, следует применять способ подсчета по формуле трапеции, а крайние отсеки вычислять по формуле треугольника.



Фиг. 196. Стандартный чертеж к графоаналитическому способу.

§ 103. Вычисление расхода графомеханическим способом

При применении графомеханического способа весь ход графических построений остается тот же, что и при графоаналитическом способе. В отличие от этого последнего способа после построения эпюры элементарных расходов вычисление искомой величины Q выполняется не аналитически (по формулам 112, 113, 114), а графически путем планиметрирования площади эпюры расходов, т. е. площади, ограниченной линией горизонта и линией эпюры элементарных расходов.

Планиметрирование должно производиться на гладкой чертежной доске с подкладкой из гладкого листа бумаги. Для определения коэфициента планиметра строится на клетчатке чертежа квадратик со сторонами, равными 5—10 *см*; рекомендуется строить такие квадратики в четырех углах клетчатки и расчетный коэфициент планиметра выводить как среднее арифметическое из таких четырех определений, чтобы этим учесть обычную неравномерность усыхания бумаги; каждый из квадратиков обводится не менее двух раз; расхождение в отсчетах допускается не более 2%. За коэфициент планиметра принимается число масштабных единиц

(произведения из линейных единиц по двум осям), отвечающее одному делению планиметра.

Например, если обвод площади квадрата стороной в 5 *см*, где по ординатам отложены элементарные расходы в масштабе 2 *м³/сек* в 1 *см*, а по абсциссам расстояния между вертикалями в масштабе 0,5 *м* в 1 *см*, дал показание 223 делений планиметра, то коэфициент планиметра K будет равен:

$$K = 1 \text{ деление планиметра} = \frac{25 \cdot 2 \cdot 0{,}5}{223} = 0{,}1122 \ м^3/сек.$$

Величина K должна определятся 5—7-значащими цифрами.

При установке планиметра необходимо фиксировать его положение так, чтобы при обводе всей площади угол, составляемый двумя рычагами планиметра, не был менее 20° или более 160°; в противном случае всю площадь, подлежащую планиметрированию, следует разбить на 2—3 площадки и выполнить их измерение в отдельности.

Записи результатов планиметрирования удобно производить по такой форме:

ФОРМА 4

	Отсчеты по планиметру			
	начальные	конечные	разность	площадь
1				
2				
3				
		Среднее		

Инструкция Государственного гидрологического института рекомендует ввиду частых случаев грубых ошибок в переводе планиметрированной площади из условных в абсолютные единицы поверять полученную величину расхода непосредственным табличным суммированием величин q_m и помножением этой суммы на b [т. е. по формуле (114)].

Точность результатов по графомеханическому способу оценивается обычно при надлежащем применении планиметра, как несколько более высокая, чем способа графоаналитического.

§ 104. Упрощенные аналитические способы

Аналитические упрощенные методы удобны тем, что не сопровождаются графическими построениями; в то же время при правильном распределении скоростей по живому сечению, правильном русле и достаточном числе скоростных вертикалей методы эти дают вполне удовлетворительную точность. Наиболее распространенный аналитический способ заключается в последовательном вычислении элементарных расходов отдельных площадок живого сечения между скоростными вертикалями. Прежде всего определяются площадки живого сечения между отдельными промерными вертикалями по формуле:

$$\omega_i = \frac{h_n + h_{n+1}}{2} \cdot b. \qquad (115)$$

Затем суммированием определяются площадки ω_c между скоростными вертикалями:

$$\omega_c = \sum \omega_i. \qquad (116)$$

Далее, по найденным средним скоростям на вертикалях (§ 58) вычисляют значения средних скоростей для интервалов между скоростными вертикалями как среднее арифметическое из смежных значений:

$$v_{m,\,ср} = \frac{v_m^n + v_m^{n+1}}{2}, \qquad (117)$$

Для крайних отсеков вычисления ω_i и $v_{m.\,ср}$ выполняются по формуле для треугольников, причем v_m находят по такой формуле:

$$v_m = \frac{2}{3}(0 + v_1) = \frac{2}{3} v_1. \tag{118}$$

Помножая $v_{m.\,ср}$ на ω_c, находят величины элементарных расходов q_i:

$$q_i = v^i_{m.\,ср}\, \omega^i_c, \tag{119}$$

откуда

$$Q = \sum v^i_{m.\,ср}\, \omega^i_c, \tag{120}$$

т. е. весь расход находят суммированием элементарных расходов.

Вычисления в указанном случае располагаются в таком порядке:

ФОРМА 5

№ скоростных вертикалей	Средняя скорость		Площадь между скоростными вертикалями	Расход интервала между скоростными вертикалями
	на скоростных вертикалях	для интервалов между скоростными вертикалями		
4,00	0,0			
		0,089	0,333	0,030
6,00	0,177			
		0,238	1,895	0,450
8,00	0,300			
		$Q=$	. . . . .	. . . . .

Можно также итти несколько иным путем: значения ω_i вычислять для двух полуплощадок, находящихся с обеих сторон скоростной вертикали,

$$\omega_i = \frac{H' + H''}{2} b' + \frac{H'' + H'''}{2} b'', \tag{121}$$

где H' и H''' — глубины вертикалей, отвечающих середине интервалов между данной скоростной вертикалью и смежными с ней скоростными вертикалями, а H'' — глубина данной скоростной вертикали; b' и b'' — соответственно удаление H' и H''' от вертикали H''; при $b = \text{const}$, имеем

$$\omega_i = \frac{H' + 2H'' + H'''}{2} b. \tag{122}$$

Тогда

$$q_i = \omega_i v_m,$$

где v_m — средняя скорость на вертикали H'', откуда получаем

$$Q = \sum q_i = \sum \omega_i v_m . \tag{123}$$

Способ этот удобен лишь при числе промерных вертикалей, вдвое большем чем число скоростных вертикалей.

Наконец, можно также вести вычисления по вышеприведенным формулам (112) и (113).

Ниже дан пример аналитического вычисления расхода по формуле (120).

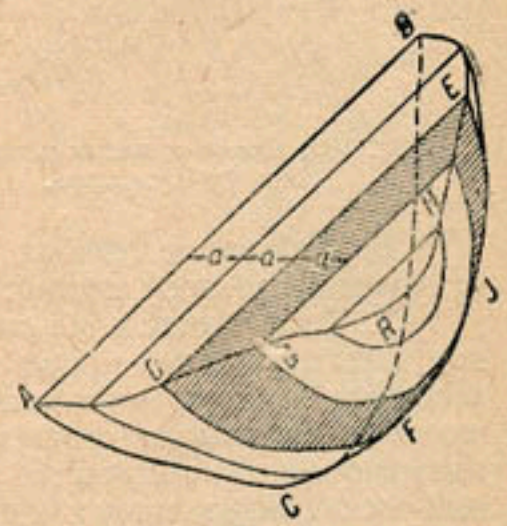
ТАБЛИЦА 19

№ вертикалей	Расстояния b	Глубины h	Средняя глубина $\frac{h_n+h_{n+1}}{2}$	Площадь ω	Скорость на вертикали v_m	Средняя скорость $\frac{v'_m+v''_m}{2}$	Частный расход q
Урез лев. бер.		0			0		
	4,0		0,225	0,90		0,043	0,039
1		0,45			0,086		
	7,0		0,850	5,95		0,1395	0,830
2		1,25			0,193		
	8,0		1,225	9,80		0,260	2,553
3		1,20			0,328		
	7,0		1,165	8,16		0,297	2,424
4		1,13			0,266		
	8,0		1,110	8,88		0,263	2,335
5		1,09			0,260		
	8,0		0,960	7,68		0,270	2,074
6		0,83			0,280		
	8,0		0,800	6,40		0,224	1,437
7		0,77			0,169		
	6,15		0,385	2,37		0,084	0,200
Урез прав. бер. . . .		0	$\Omega=$	50,14 $м^2$	0	$Q=$	11,892 $м^3/сек$

§ 105. Вычисление расхода по изотахам (метод Кульмана)

1. Метод вычисления расхода по изотахам (предложенный Кульманом и усовершенствованный Гарляхером) имеет особое значение для методологических гидрометрических станций, где кроме получения величины расхода не менее важно изучение распределения скоростей по сечению потока.

Этот метод заключается в последовательном определении объема пластинок, полученных при рассечении модели расхода вертикальными плоскостями, параллельными площади живого сечения (фиг. 197). Для вычисления объема каждой из этих пластинок можно применить формулу объема усеченной пирамиды или проще объема призмы; основаниями являются площади, заключенные между изотахами — p_0, p_1..., а высотами — те расстояния a, через которые проведены сечения, т. е. разности скоростей, соответствующих двум соседним изотахам.



Фиг. 197. Схема к методу Кульмана.

Объем концевого отрезка R ввиду незначительности его по сравнению с величиной $\sum q$ может быть вычислен по формуле объема параболлоида как

$$R = \frac{1}{2} p_n \cdot a',$$

где $a' < a$ и $a' = v_{max} - v_n$; тогда

$$Q = a\left(\frac{p_0 + p_n}{2} + p_1 + p_2 + \ldots + p_{n-1}\right) + \frac{1}{2} p_n \cdot a'. \qquad (124)$$

Площади p_0, p_1, p_2... измеряются планиметром по профилю живого сечения с проведенными на нем изотахами; p_0 — площадь всего живого сечения; p_1 — площадь, ограниченная первой по порядку изотахой; p_2 — второй и т. д., p_n — последней изотахой.

2. Видоизменением описанного способа является вычисление расхода по площадям между изотахами (а не по площадям изотах); геометрически это равносильно определению объемов не пластинок, а колец в просветах между изотахами (фиг. 198); площадь их сечения равна разности площадей соответствующих изотах, средняя высота — полусумме скоростей, соответствующих этим изотахам; объем вычисляется по формуле для объема кольца:

$$q = (p_n - p_{n+1}) \frac{v_n + v_{n+1}}{2} \tag{125}$$

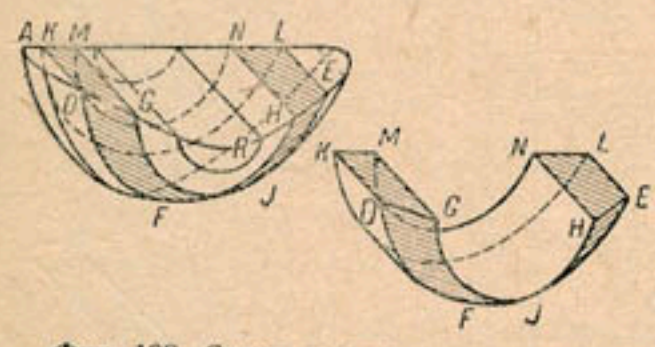
или

$$q = (p_n - p_{n+1})\left(na - \frac{a}{2}\right), \tag{125а}$$

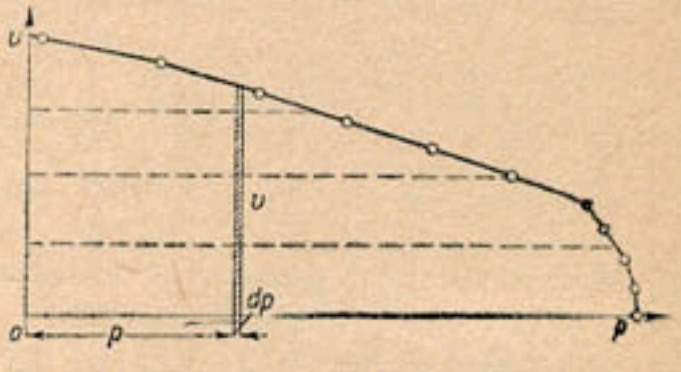
$$Q = (p_0 - p_1)\frac{a}{2} + (p_1 - p_2)\frac{3}{2}a + (p_2 - p_3)\frac{5}{2}a + \ldots$$

$$\ldots + (p_{n-1} + p_n)\left(na - \frac{a}{2}\right) + p_n\left(na + \frac{a' - a}{2}\right). \tag{126}$$

Результаты при этом порядке вычислений должны получаться такие же, как и по формуле для метода Кульмана.



Фиг. 198. Схема к видоизмененному методу Кульмана.



Фиг. 199. Тахографическая кривая.

Во избежание ошибок рекомендуется коэфициент планиметра определять опытным обведением построенных на чертеже квадратиков (см. § 103).

3. Часть вычислений способа второго может быть устранена путем построения тахографической кривой (фиг. 199). Эта кривая строится откладыванием по абсциссам в некотором масштабе площади p, ограниченной изотахами; по ординатам откладываются соответствующие скорости. Соединением полученных точек плавною кривой получается интегральная кривая элементарных расходов; полный расход определится как площадь, ограниченная кривой и координатными осями. Действительно, площадка полоски шириной dp и высотой v представляет элементарный расход через соответствующую изотаху. Полный расход Q равен:

$$Q = \int_0^{P_0} v \cdot dp. \tag{127}$$

Если взять горизонтальную полоску высотой dv и длиной p, то

$$Q = \int_0^{v_{max}} p \cdot dv, \tag{127а}$$

что соответствует подсчету по первоначальному способу Кульмана.

4. Весьма важным условием надлежащего применения метода изотах является тщательное выполнение построения изотах.

Для упрощения этого скоростные эпюры строятся на самом чертеже живого сечения, выполненном в туши, на соответствующих скоростных вертикалях. Построение этих эпюр выполняется в карандаше и начинается с самой глубокой

вертикали, дающей наибольшую среднюю скорость. По вычерчивании каждой из эпюр на ней находят точки, отвечающие принятым подразделениям значений скоростей; эти точки проектируются на вертикаль горизонтальными линиями, намечаются на ней кружками в туши (с соответствующими надписями скоростей), после чего эпюры стираются. Удобно это выполнять последовательно для каждой из эпюр, чтобы не затемнять чертежа.

Для облегчения нахождения точек на поверхности воды, отвечающих выходам изотах на поверхность, удобно строить эпюру поверхностных скоростей, с которой нетрудно снести все нужные точки на линию горизонта. По нанесении всех точек на всем живом сечении через них проводятся изотахи в виде плавных кривых, большей частью близко следующих за очертаниями дна.

§ 106. Приведение расхода к расчетному уровню

Надлежащее установление расчетного уровня, отвечающего измеренному расходу, является столь же важным, как и тщательные измерение и вычисление расхода. Правильно измеренный и правильно вычисленный расход во многом теряет свою ценность, если уровень, к которому он относится, установлен неправильно, так как уровень определяет относительное место данного расхода в ряду иных возможных моментов режима реки.

Необходимо отметить, что при сильно меняющихся уровнях распределение скоростей в живом сечении также значительно меняется; поэтому в таких случаях измерения скоростей не дают для всего живого сечения в целом правильной картины, а фиксируют лишь отдельные этапы меняющихся скоростей на отдельных участках (вертикалях) сечения. Восстановление действительного распределения скоростей в живом сечении, отвечающего одному какому-либо уровню, делается в этом случае весьма затруднительным и даже невыполнимым. В связи с этим следует всегда иметь в виду практическую необходимость, при наличии резких изменений уровней, выполнять измерения скоростей в возможно короткий промежуток времени; этого можно достигнуть такими путями: 1) увеличивая число одновременно работающих на створе вертушек (имеются случаи выполнения одновременных измерений на одном створе при помощи до 10—12 вертушек); 2) уменьшая до минимума число скоростных вертикалей; 3) применяя сокращенные способы измерений на вертикалях в двух и одной точке (§ 94). Во всех таких случаях при измерении скоростей надлежащая, достаточно частая, регистрация уровней приобретает особое значение (§ 91).

Расчетный уровень, отвечающий измеренному расходу, должен быть установлен:

1) для временного водомерного поста у створа измерений, если этот створ не совпадает с основным расходным водомерным постом;

2) для основного расходного водомерного поста.

Уровень временного поста устанавливается непосредственно по его показаниям (§ 91); уровень основного расходного поста, если он не совпадает со створом, может быть установлен или непосредственно по его показаниям или через посредство кривой связи соответственных уровней (§ 51).

При установлении расчетного уровня можно различать два главных случая:

1) малые изменения уровней во время измерения скоростей;

2) значительные изменения уровней.

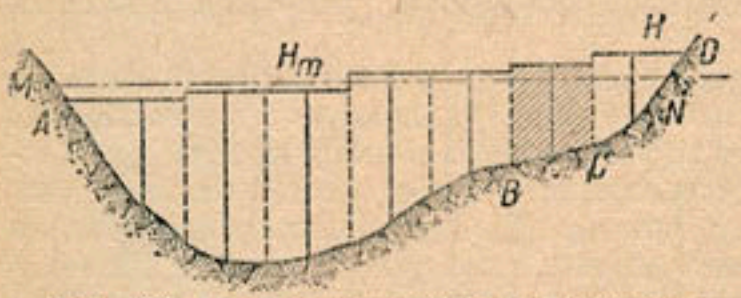
1. Под малыми изменениями уровней разумеют такие, которые не превосходят единиц сантимеров — до 5 *см* на реках средней и большой величины. Еще правильнее для оценки изменчивости уровней исходить из обусловливаемых таковой изменений площади живого сечения; обычно считают допустимыми изменения площади живого сечения до $\pm 3\%$. В случае малых изменений уровней за расчетный уровень можно принять среднее арифметическое из показаний водомерного поста (почасовых, или отвечающих началу измерений на каждой скоростной вертикали). Если горизонт держался очень долго на одном уровне (более 75% всего времени определения расхода), отклоняясь от него в остальное время, то за расчетный уровень расхода принимается этот долго державшийся горизонт.

2. В случаях значительных колебаний уровней приходится относить измеренный расход к условному рабочему горизонту. Условный рабочий горизонт H_m вычисляется тогда из уравнения:

$$H_m = \frac{q_1H_1 + q_2H_2 + \ldots + q_nH_n}{q_1 + q_2 + \ldots + q_n} = \frac{\sum q_iH_i}{Q}, \qquad (128)$$

где H_m — отметка условного рабочего горизонта; q_iH_i — произведения частных расходов q_1, q_2,..., q_n, соответствующих отдельным скоростным вертикалям, на соответствующие им отметки горизонта воды на вертикалях H_1, H_2,..., H_n; эти последние определяются как наблюденные уровни во время измерений на отдельных вертикалях [при способе по формуле (112)] или средние арифметические из отметок уровней для смежных вертикалей, ограничивающих данный элементарный расход [при способе по формуле (113)].

Приведенным уравнением условный уровень определяется как среднее арифметическое из высот уровней H_i, соответствующих каждой скоростной вертикали, причем эти высоты H_i вводятся в расчет с весами, пропорциональными величинам частных расходов q_i. Вместо величин H_i, т. е. уровней над 0 поста, можно ввести в расчет для удобств вычислений превышения уровней над какой угодно иной горизонтальной плоскостью сравнения; например, если уровни изменялись в пределах 2,10—2,25 *м*, удобно брать высоты сверх 2,10 *м*.



Фиг. 200. Приведение расхода к условному горизонту.

Таким образом определению H_m соответствует такая срезка площади живого сечения горизонтальной линией условного горизонта, чтобы величина расхода $Q = \Sigma q_i$ осталась без всяких изменений (фиг. 200). Эта величина является тогда, собственно говоря, лишь приближенной, так как допускаемое при вычислении условного горизонта исправление глубин должно влечь за собой и исправление величин средних скоростей по вертикалям; эти последние исправления, однако, выполнить затруднительно и приемлемых путей к этому нет. Правда, имеющие место ошибки в значительной мере компенсируются.

Если уровни воды при производстве измерений не фиксировались соответственно моментам перехода на каждую новую вертикаль, но лишь через определенные промежутки времени, определение уровней, соответствующих времени измерений на отдельных вертикалях, определяется по интерполяции.

3. Недавно (1928 г.) немецким исследователем д-ром К у н ц е предложен н о в ы й м е т о д нахождения расчетного уровня при значительных колебаниях уровней во время измерения расхода. Сущность метода изложена в нижеследующем:

Для рассматриваемого случая можно полагать, что в формуле Шези для средней скорости потока, применимой к любому участку потока, имеем $C\sqrt{I} = \text{const}$.

Обозначим глубины вертикалей через h, расстояние между ними через b; среднюю глубину площадки между двумя смежными вертикалями — через h_m; среднюю скорость для той же площадки — через v_m. Имея в виду, что при изменениях горизонтов расстояние между вертикалями не меняется, т. е. $b = b'$, можно получить для двух различных стояний уровней такое соотношение частных расходов q и q', проходящих между какой-либо парой смежных вертикалей:

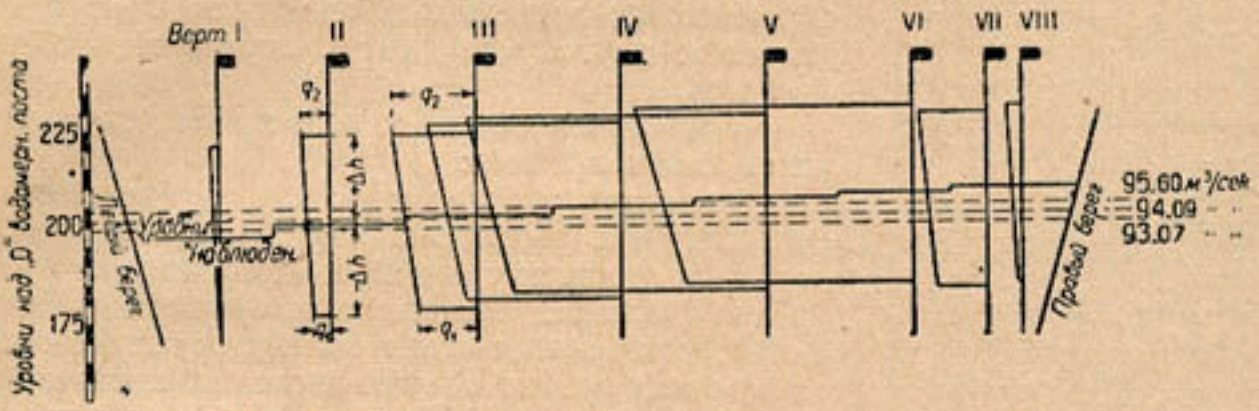
$$\frac{q}{q'} = \frac{bh_mv_m}{b'h'_mv'_m} = \frac{bh_mC\sqrt{h_mI}}{b'h'_mC\sqrt{h'_mI}} = \left(\frac{h_m}{h'_m}\right)^{3/2}. \qquad (129)$$

Таким образом при небольших колебаниях уровней можно от вычисленной по данным измерений величины частного расхода q (между смежными вертикалями)

перейти к иному частному расходу q', также отвечающему изменившемуся уровню и глубинам:

$$q' = \left(\frac{h'_m}{h_m}\right)^{3/2} q. \qquad (130)$$

Пользуясь этим соотношением, подсчитывают для каждого частного расхода (между смежными вертикалями) по два теоретических значения расхода — q_1 и q_2, а именно, относящихся к глубинам $h_1 = h_m + \Delta h$ и $h_2 = h_m - \Delta h$, где $\pm \Delta h$ — произвольно взятые приращения горизонта воды (приращения глубин). По вычисленным парам значений q_1 и h_1, q_2 и h_2 строят далее на нанесенных в масштабе на чертеже (фиг. 201) вертикалях графики изменения частных расходов q_1 и q_2 в зависимости от изменения отвечающих им уровней h_1 и h_2 в амплитуде, превышающей наблюденную амплитуду колебаний горизонтов.



Фиг. 201. Нахождение расчетного уровня по Кунце.

Пользуясь таким построением, условный расчетный горизонт находят постепенным подбором (фиг. 201), исходя из условия, чтобы сумма частных расходов на всех вертикалях равнялась величине действительно замеренного расхода.

Таким образом никаких поправок в дальнейшем на глубину и скорости делать не нужно.

ТАБЛИЦА 20

Расстояние вертикалей от репера	h	h_m	b	ω	v	v_m	q	$h_1 = h_m + \Delta h$	$h_2 = h_m - \Delta h$	$\frac{h_1}{h_m}$	$\frac{h_2}{h_m}$	$\left(\frac{h_1}{h_m}\right)^{3/2}$	$\left(\frac{h^2}{h_m}\right)^{3/2}$	q_1	q_2	Примечание
4,85	0,0				0,0											
		0,41	5,15	2,08		0,124	0,259	0,66	0,16	1,610	0,390	2,043	0,244	0,529	0,063	
10,0	0,81				0,248											
		1,14	6,0	6,84		0,331	2,261	1,39	0,89	1,219	0,780	1,347	0,689	3,046	1,558	
16	1,47				0,414											
		2,04	8,0	16,28		0,485	7,896	2,29	1,79	1,123	2,877	1,185	0,825	9,357	6,514	
24	2,60				0,556											
		3,35	8,0	26,80		0,707	18,95	3,60	3,10	1,075	0,925	1,113	0,890	21,09	16,86	
32	4,40				0,758											
		4,45	8,0	35,60		0,834	29,69	4,70	4,20	1,056	0,944	1,086	0,916	42,24	27,20	
40	4,80				0,910											
		3,77	8,0	30,20		0,912	27,54	4,02	3,52	1,067	0,934	1,106	0,903	30,46	24,87	
48	2,75				0,914											
		2,05	4,0	8,20		0,820	6,724	2,30	1,80	1,122	0,878	1,185	0,823	7,97	5,538	
52	1,35				0,726											
		0,67	3,15	2,11		0,363	0,766	0,92	0,42	1,373	0,727	1,602	0,499	1,23	0,382	
55,16	0,0				0,0											

$\pm \Delta h$ взято равным $\pm 0{,}25$ м

$Q = 94{,}09$ м³/сек. Расчетный уровень $H = 2{,}02$ м

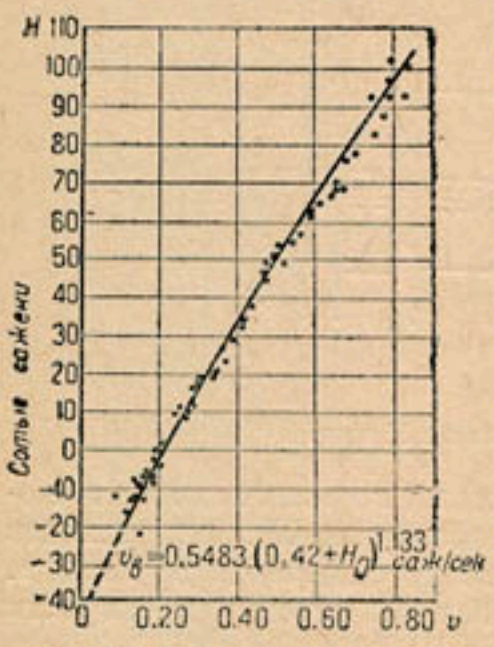
Образец подсчетов (по одному из измерений для верховьев Волги, по данным Б. И. Скачкова), нужных для выполнения расчетного построения (по схеме фиг. 201), дан в табл. 20.

4. Когда расчетный уровень временного водомерного поста, отвечающий измеренному расходу, установлен, следует установить расчетный уровень по основному расходному посту, если последний не совпадает со створом. Тут можно различать два случая:

1) основной расходный пост находится недалеко от гидрометрического створа — в пределах его видимости (до 1—2 *км*);

2) основной расходный пост удален от створа на более значительное расстояние.

В первом случае расчетный уровень по основному расходному посту может быть установлен совершенно аналогично указанному выше с той разницей, что в расчет вводятся значения H_i, наблюденные по основному посту (§ 91), а не по временному; временем добегания воды от одного поста к другому в данном случае можно пренебречь.



Фиг. 202. Кривая $v_m = f(H)$.

Во втором случае можно применять один из следующих приемов:

а) строится кривая связи соответственных уровней для обоих постов (§ 51), лучше всего по срочным отсчетам уровней, выполненным при измерении расхода, или по иным срочным наблюдениям, отвечающим (хотя бы приближенно) среднему сроку пробега воды от верхового поста к низовому; тогда расчетный уровень временного водомерного поста переводится к показаниям основного расходного поста непосредственно по построенной кривой связи;

б) устанавливается время добегания воды от верхового пункта к низовому; это время ΔT может быть приближенно определено поплавочными измерениями в натуре или же из анализа (по графикам уровней для обоих постов) перемещения характерных фаз (пики, впадины) от одного пункта к другому. Определив время добегания (пробега) ΔT, устанавливают исходный момент, в который имел место на створном временном водомерном посту принятый расчетный уровень; тогда расчетный уровень определяется для основного расходного поста как отвечающий уровню, имевшему место на расходном посту через установленное время ΔT от исходного момента на створном водомерном посту (раньше или позже, смотря по взаимному положению обоих пунктов).

5. Отметим, что при режиме реки с весьма резкими колебаниями уровней целесообразна такая организация работ, при которой измерения скоростей выполнялись бы всегда на одних и тех же вертикалях. В этом случае увязка расходов с уровнями может быть осуществлена таким особым приемом. В рассматриваемом случае после ряда измерений возможно построить кривые зависимости средней скорости на вертикали от ее глубины (фиг. 202), т. е. кривые $v_m = f(H)$.

Имея такие кривые для всех вертикалей, нетрудно определять значение средней скорости для них при любых глубинах или уровнях, конечно, только при условии устойчивого русла. Таким образом может быть осуществлено вычисление расхода, относящегося к любому расчетному уровню.

Способ этот рекомендуется также для случаев измерений на больших реках, где в силу значительного объема одного цикла измерений выполнить их на всех вертикалях в течение одного дня — затруднительно (§ 98).

6. Найденные расчетные уровни записываются в бланк измерений и на чертежах вычислений. Наряду с расчетным уровнем записывают характеристику $\frac{dH}{dt}$

т. е. величину изменения уровней за время измерения расхода; знаком плюс отмечают подъем, знаком минус — спад; нуль означает стояние уровней.

§ 107. Вычисление дополнительных характеристик измерений расходов

Как указывалось в § 100, после вычисления величин расхода и отвечающего ему расчетного уровня производится вычисление дополнительных характеристик измеренного расхода; эти характеристики были перечислены выше (§ 100). Эти дополнительные характеристики нужны для ряда дальнейших обработок расходов (построение кривых расхода), а также для оттенения и анализа условий измерений.

1. Площадь живого сечения, при применении основных способов вычисления расхода, описанных в § 102 и 103, вычисляется особо и независимо от вычисления расхода.

При применении упрощенного аналитического способа вычислению частных расходов предшествует вычисление частных площадок живого сечения ω_i, вся площадь живого сечения находится как сумма ω_i:

$$\Omega = \sum \omega_i = \sum_{m=1}^{m=n} h_m \left(\frac{b_{m-1} + b_m}{2} \right). \tag{131}$$

2. Средняя глубина живого сечения h_{cp} находится по формуле

$$h_{cp} = \frac{\Omega}{B}, \tag{132}$$

где B — ширина между урезами воды.

3. Средняя скорость всего живого сечения v_{cp} определяется из соотношения:

$$v_{cp} = \frac{Q}{\Omega}. \tag{133}$$

Подчеркнем здесь часто встречающуюся в практике ошибку вычисления v'_{cp} как среднего арифметического из полученных средних скоростей на всех вертикалях, т. е. по выражению

$$v'_{cp} = \frac{\sum v_m}{n}. \tag{134}$$

Нетрудно показать, что выражение (134) не однозначно с выражением (133).

В самом деле, выражение (133), правильно определяющее величину средней скорости в живом сечении (по самому определению средней скорости — см. § 82), можно представить так:

$$v_{cp} = \frac{Q}{\Omega} = \frac{\sum \omega_i v_{mi}}{\sum \omega_i} = \frac{\omega_1 v_{m1} + \omega_2 v_{m2} + \ldots + \omega_n v_{mn}}{\omega_1 + \omega_2 + \ldots + \omega_n}, \tag{135}$$

где ω_i — элементарные площадки, отвечающие средним скоростям на вертикалях v_{mi}.

Если бы выражение (134) было верно, то можно было бы написать

$$v_{cp} = v'_{cp},$$

$$\frac{\sum v_m}{n} = \frac{\omega_1 v_{m1} + \omega_2 v_{m2} + \ldots + \omega_n v_{mn}}{\omega_1 + \omega_2 + \ldots + \omega_n}. \tag{136}$$

Правая часть выражения (136) будет равна левой части только при одном условии, если:

$$\omega_1 = \omega_2 = \ldots = \omega_n = \omega.$$

Это условие может иметь место только в том частном случае, когда каждой скоростной вертикали отвечает одна и та же величина элементарной площадки

живого сечения; при равномерном распределении вертикалей этому отвечает случай прямоугольного русла.

Отсюда видно, что в общем случае выражением (134) пользоваться для вычисления средней скорости живого сечения нельзя.

4. Смоченный периметр и гидравлический радиус. Смоченный периметр вычисляется по формуле:

$$p = \sqrt{b_1^2 + h_1^2} + \sqrt{b_1^2 + (h_2 - h_1)^2} + \sqrt{b_2^2 + (h_3 - h_2)^2} + \ldots \quad (137)$$
$$\ldots + \sqrt{b_{n-1}^2 + (h_n - h_{n-1})^2} + \sqrt{b_n^2 + h_n^2}.$$

Гидравлический радиус R находится из соотношения

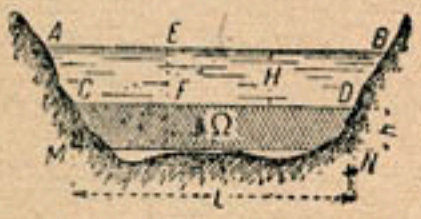
$$R = \frac{\Omega}{p}. \quad (138)$$

Для больших рек удобно заменять гидравлический радиус R средней глубиной T, так как они примерно равны.

5. Коэфициент шероховатости. Удобно вычислять коэфициент шероховатости по формуле Базена:

$$\gamma = \left(\frac{87\sqrt{R \cdot I}}{v_{ср}} - 1\right)\sqrt{R}, \quad (139)$$

где I — поверхностный уклон, равный $\frac{\Delta h_i}{L}$, причем Δh_i — разность отметок уровней в точках выше и ниже места измерения расхода, а L — расстояние между этими точками (§ 96).



Фиг. 203. Отметка среднего дна.

При наличии разлива по пойме обязательно отдельное вычисление коэфициентов шероховатости для коренного русла и для обеих частей поймы (правой и левой).

6. Вычисление отметки среднего дна. В руслах, которые лежат в легко размываемых грунтах, профиль живого сечения может непрерывно изменяться. Для возможности сравнений состояния русла вычисляют отметку среднего дна.

Для того чтобы эта отметка не зависела от высоты уровня воды в живом сечении, для вычисления ее раз навсегда принимают какой-либо постоянный уровень воды, например, средний низкий — $H_{усл}$; отметка среднего дна H_0 определится тогда как разность отметки этого условного горизонта $H_{усл}$ и средней глубины живого сечения h (фиг. 203), отвечающего выбранному условному горизонту, т. е.

$$H_0 = H_{усл} - \frac{\omega}{L} = H_{усл} - h, \quad (140)$$

где L — ширина русла реки по выбранному условному горизонту; ω — площадь живого сечения при уровне $H_{усл}$ (фиг. 203).

Площадь ω вычисляется по глубинам от линии CD, определяемым из глубин, полученных промерами при каком-либо горизонте AB, после вычитания из этих последних глубин величины H, которая является разностью отметок горизонта AB и принятого условного низкого горизонта CD, отвечающего отметке $H_{усл}$.

Отметка среднего дна при устойчивом русле остается неизменной и изменяется в профилях, подверженных размывам или занесению наносами. Таким образом величины отметок среднего дна служат показателями степени постоянства живого сечения. Для наглядности изображения изменчивости H_0 во времени можно строить графики их хода на протяжении периода наблюдений.

Следует заметить, что условия прохода воды через данное живое сечение могут быть нарушены также изменениями в русле, имеющими место ниже или выше данного живого сечения, т. е. изменениями, неучитываемыми отметкой среднего дна.

ГЛАВА XIX

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДОВ СПОСОБАМИ: ГИДРАВЛИЧЕСКИМ, СМЕШЕНИЯ И ОБЪЕМНЫМ

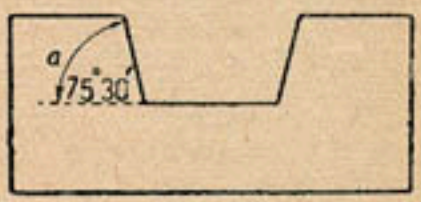
§ 108. Применение теории водосливов к измерению расходов

Теория водосливов может быть с успехом применена для определения расходов в естественных потоках в таких двух случаях:

1) в условиях рек, прегражденных рядом вододействующих сооружений, особенно при наличии солидных конструкций плотин, не допускающих значительной фильтрации, —для определения расхода реки как суммы расходов через водопропускные отверстия плотины;

2) на очень малых потоках-ручьях, где трудно применить и вертушку и поплавки, — для определения расходов при помощи временно или постоянно устанавливаемого водослива в виде тонкой стенки, отверстия в стенке или специальных конструкций водосливов.

Эти способы, в частности первый, широко распространены, например, в Америке; результаты такого рода измерений в ряде случаев можно отнести к наиболее точным. У нас, к сожалению, такого рода приемы применяются мало, хотя в условиях рек, прегражденных вододействующими сооружениями, а также на малых потоках, применение их весьма целесообразно.



Фиг. 204. Водослив Чиполетти.

1. Применительно к существующим конструкциям плотин и водосбросных соружений расход воды может быть определен по гидравлическим формулам, выведенным для таких случаев: 1) водослив с широким порогом; 2) прямоугольный водослив в тонкой стенке; 3) отверстие в стенке. Формулы эти и случаи их применения рассматриваются в курсах гидравлики. Наиболее близких к действительности результатов следует ожидать в случаях, когда для расчетов может быть применена формула для прямоугольного водослива в тонкой стенке.

2. На малых потоках наиболее распространены и удобны в применении для регистрации расходов такие специальные типы водосливов:

1) водослив Чиполетти; 2) водослив Томпсона; 2) переносная водосливная рамка.

1. Водослив Чиполетти имеет отверстие трапецоидальной формы (фиг. 204); при такой форме коэфициент расхода μ почти не зависит от величины напора H и равен $\frac{2}{3}\ \mu = 0{,}42$; это постоянство является весьма важным достоинством водослива Чиполетти: расход пропорционален длине водосливного ребра. Чиполетти дал для наклона боковых ребер угол в 76°, однако по позднейшим исследованиям Стевенса следует считать, что для водосливов с порогом длиной менее 914 *мм* углы наклона α должны меняться так, как показано ниже в табличке.

Длина порога в *мм*	152,4	304,8	609,6	914,4
Угол α	76°45	76°35	76°15	76°00

Для порогов длиной от 0,9 до 2,7 *м* — при напорах от 76 до 609 *мм* — угол может быть принят равным 75°30′. Формула для вычисления расхода по водосливу Чиполетти

$$Q = 1{,}86 \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}}\ м^3/сек. \qquad (141)$$

Водосливы Чиполетти дают высокую точность при соблюдении следующих условий:

1) с верховой стороны для уменьшения скорости подхода должен быть отстойный бассейн, периодически очищаемый от насосов;

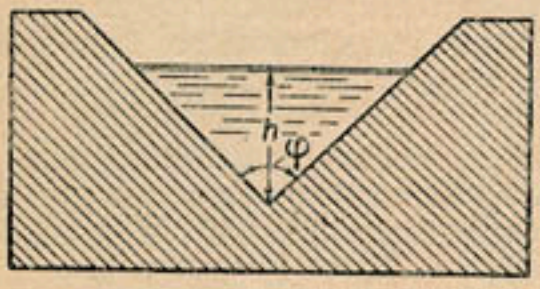
2) порог водослива должен быть поставлен строго горизонтально по уровню, а края его должны быть достаточно остры;

3) под струю, ниже порога, должен быть обеспечен доступ воздуха, чего можно достигнуть уширением русла ниже стенки водослива;

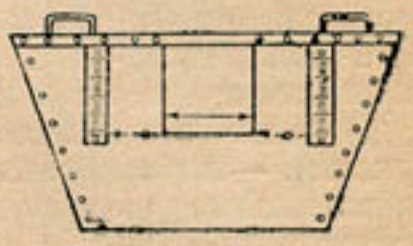
4) рейка, по которой производится измерение уровней, должна находиться от щита не менее чем на 1—2 *м*, а нуль ее должен точно соответствовать высоте порога;

5) водослив работает правильно только тогда, когда напор меньше $^1/_3$ длины порога.

Для каждого водослива обычно составляется таблица расходов в зависимости от длины порога b и напора h. Так как напор на водосливе Чиполетти может меняться, то его необходимо регистрировать установкой лимнографа.



Фиг. 205. Водослив Томпсона.



Фиг. 206. Переносная водосливная рамка.

2. Американский профессор Томпсон предложил водослив с треугольным отверстием (фиг. 205); коэфициент расхода этого водослива в определенных пределах также можно считать постоянным. Для угла $\varphi = 90°$ и размеров в метрах применима формула

$$Q = 1{,}4\, h^{\frac{5}{2}} \ м^3/сек, \tag{142}$$

Общий вид формулы для водослива Томпсона

$$Q = 83{,}5\, \mu \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\varphi}{2}\right) h^{\frac{5}{2}} \ м^3/сек. \tag{143}$$

Формулы эти применимы лишь при соблюдении двух условий:

а) наличия за водосливом глубины для свободного перепада, т. е. высоты порога не меньше, чем высота напора h,

б) наличия свободного подхода к водосливу.

3. Весьма удобна для пользования также переносная водосливная рамка, показанная на фиг. 206. Такая рамка изготовляется из листового железа толщиной в $1^1/_4$—2 *мм* с приклепанными к ней для жесткости железными полосками; прямоугольный вырез размером 0,2 × 0,2 *м* имеет острые края; вдоль вертикальных ребер нанесены деления в миллиметрах так, что нуль шкалы совпадает с горизонтальным нижним ребром. Такая рамка годна для измерения расходов от 750 до 2 500 $м^3$ в сутки (до 30 *л/сек*). Устанавливают водосливную рамку, вдавливая ее в русло ручья; установка проверяется одинаковыми отсчетами уровней по обеим шкалам; эти отсчеты и допускается брать за высоту напора. Расход вычисляется по формуле:

$$Q = \mu \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}} \sqrt{2g} \ (\text{в } м^3/сек). \tag{144}$$

Коэфициент μ для длины порога b по опытам Лебро при условии наличия перепада за нижним краем отверстия равен:

При h в *м*	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,14	0,18	0,20
μ	0,417	0,407	0,401	0,397	0,395	0,393	0,392	0,390

3. Для измерений расходов на небольших потоках удобно также применять специально сооружаемые прямоугольные водосливы с острым ребром по типу водослива Базена.

Для таких водосливов, для случая отсутствия затопления и бокового сжатия (ширина потока равна ширине водослива), весьма хорошую точность (до 1%) дает формула:

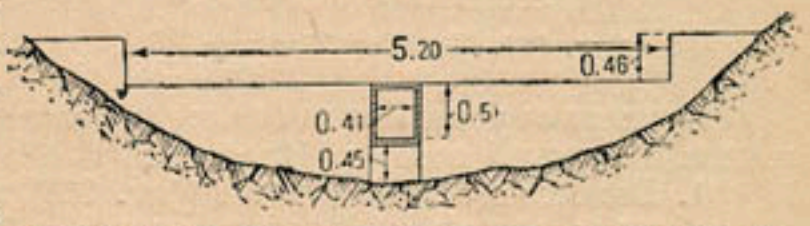
$$Q = \left(0{,}405 + \frac{0{,}0027}{H}\right)\left[1 + 0{,}55\left(\frac{H}{H+p}\right)^2\right] b \sqrt{2g}\, H^{\frac{3}{2}}, \tag{145}$$

где p — высота горизонтального ребра водослива над дном подводящего прямоугольного канала. Эта формула проверена для ширины порога b до 2 *м*, величинах напора H до 1,24 *м* и при величине p до 1,13 *м*; вторым множителем здесь учитывается скорость подхода.

Для прямоугольного водослива с боковым сжатием по Эгли (так называемая «полная формула Базена») имеется такая формула:

$$Q = \left(0{,}405 - 0{,}030\,\frac{B-b}{B} + \frac{0{,}0027}{H}\right)\left[1 + 0{,}55\left(\frac{b}{B}\right)^2\left(\frac{H}{H+p}\right)^2\right] b\sqrt{2g}\,H^{\frac{3}{2}}, \quad (146)$$

где B — ширина подводящего канала. Эта формула проверена для b от 0,2 до 5,5 *м*, для B от 1,0 до 8,3 *м*, для p от 0,15 до 3,3 *м* и для H от 0,10 до 0,60 *м*. При большой ширине B по сравнению с b (например, пруд) член $\left(-0{,}030\,\frac{B-b}{B}\right)$ заменяется выражением $\left(-\frac{0{,}033}{1+b}\right)$.

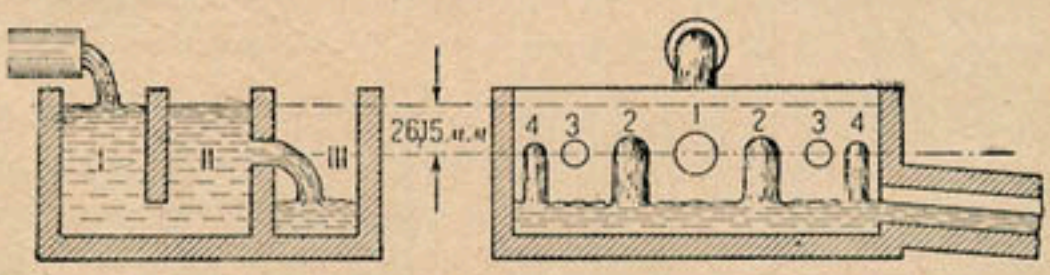


Фиг. 207. Водослив с отверстием для малых расходов.

4. Для точного длительного измерения расходов малых речек, в особенности горного типа, т. е. с изменчивым дном, неправильным руслом и быстрым течением, удобно устройство постоянных водосливов из бетона с каменным основанием или деревянных с шпунтовым ограждением для предотвращения просачивания воды под водослив в обычном для указанного типа речек галечном или наносном русле. Для измерения весьма малых меженних расходов в таких водосливах нередко делают посередине узкое отверстие (фиг. 207), куда вставляют водосливную металлическую рамку с прямоугольным или трапецоидальным отверстием; во время паводка рамка вынимается и отверстие закрывается щитом так, что вода переливается через гребень; при низком горизонте, если измерений не производят, отверстие открывают донизу во избежание занесения наносами пространства выше водослива.

§ 109. Водяные дюймы и модули

Под именем устройств, носящих общее название водяных дюймов, разумеют такие приспособления, которые позволяют учитывать расход воды, путем пропуска ее через определенной величины круглые отверстия при опреде-

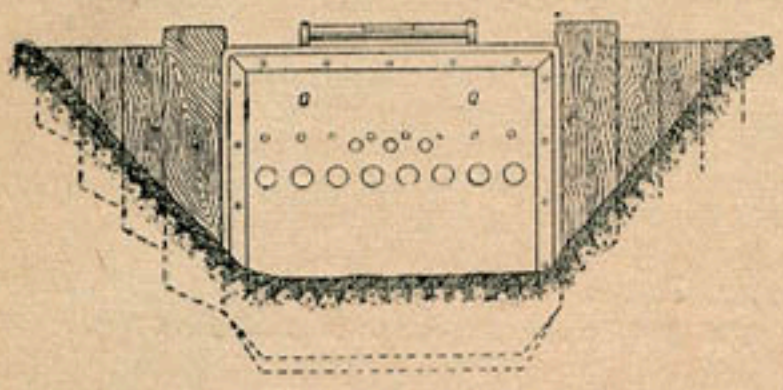


Фиг. 208. Водяной дюйм Борнемана.

ленном напоре. Количество воды, протекающее в течение 24 час. через круглое отверстие в тонкой стенке, диаметром в 1 дюйм (25,4 *мм*) при возможно наименьшей высоте напора было когда-то названо «водяным дюймом»; так, французский водяной дюйм при диаметре отверстия в 20 *мм* и высоте напора в 40 *мм* дает в сутки 20 $м^3$ воды. Отсюда и приборы, устраиваемые для измерения этой постоянной величины, получили название водяных дюймов.

Обычное устройство водяных дюймов таково: в отвесной стенке ящика делается ряд круглых отверстий одинакового или различного диаметра; в ящике помещают ряд перегородок, имеющих назначением успокоение подходящей воды. Закрывая или открывая часть из отверстий, добиваются того, чтобы напор имел

определенную величину и оставался постоянным за время наблюдения. Тогда расход определяется как сумма расходов через открытые отверстия.



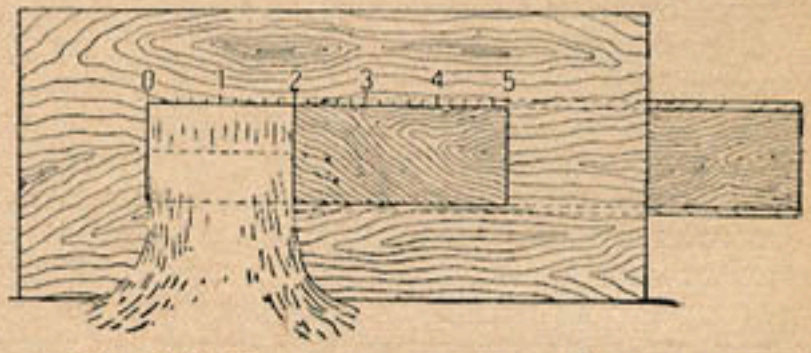
Фиг. 209. Водомер Игнатова.

Обычно величина расхода каждого отверстия Q не вычисляется, а заранее устанавливается для каждого прибора и для каждого отверстия путем тарировки или калибрования объемным методом (§ 112).

По действительным наблюдениям в течение определенного периода вычисляют суточные расходы для каждого из отверстий, каковыми данными и руководствуются в дальнейшем.

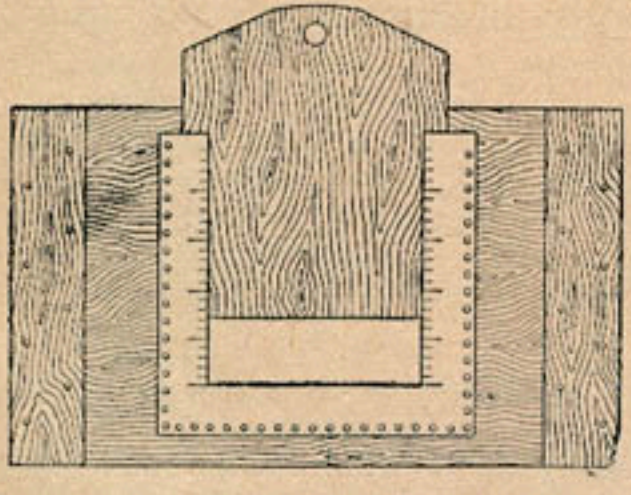
Примерами устройств водяных дюймов могут служить водяной дюйм Борнемана и русский водомер Игнатова.

1. Водяной дюйм Борнемана (фиг. 208) представляет собой большой деревянный ящик, разделенный перегородками на 3 отделения; первые два отделения служат для успокоения воды и отложения мути; в стенке третьего отделения сделано 7 отверстий разных диаметров, с центрами на одной высоте; диаметр наибольшего отверстия —около 1 дюйма, другие — меньше в 2, 4 и 8 раз. Напор поддерживается постоянный — 26,15 *мм*. Если открыть все семь отверстий, то расход, при высоте напора в 26,15 *мм*, будет равен 69,2 $м^3$ в сутки. Высоту напора регулируют, открывая или закрывая некоторые из отверстий.

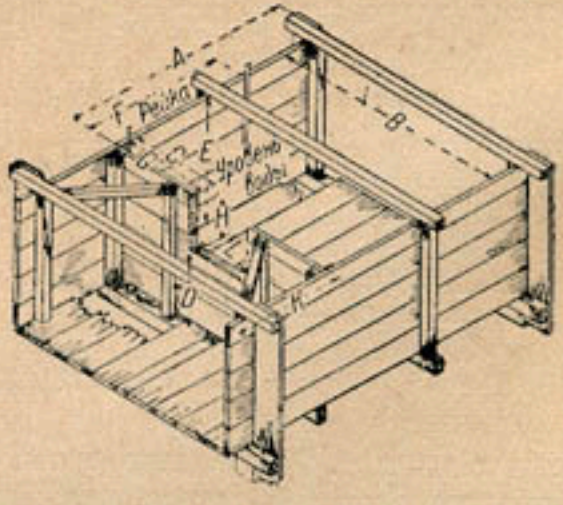


Фиг. 210. Модуль с горизонтальной шторой.

2. Водомер инж. Игнатова был сконструирован последним при гидротехнических исследованиях в б. Нижегородской губ.; общий вид его показан на фиг. 209. Прибор представляет собой железный щит с рядами отверстий [разного



Фиг. 211. Модуль Понселе.



Фиг. 212. Американский модуль.

диаметра; щит при помощи уровня устанавливается так, чтобы центры отверстий каждого ряда находились на одной высоте; контрольные отверстия его *аа* указывают положение напорного уровня. Такой щит легко можно применить для измерения расходов небольших ручьев; в таких случаях нижней заостренной кромкой щит втыкается в дно ручья, а пространство с боков заполняется досками и щели замазываются глиной.

3. Водяные модули отличаются от водяных дюймов тем, что они приспособлены для измерения более значительных расходов и имеют одно, но более или менее значительное, отверстие.

Прибор этот был известен в оросительном деле еще в XVI в. и получил свое название от слова «модуль», имевшего значение единицы расхода воды, применяемой при орошении.

Таким образом водяные модули представляют собой той или иной формы водосливы в стенке, снабженные успокоительными ящиками; в ряде типов имеются приспособления для регулирования отверстия, а значит, и расхода.

Величины расходов через модули определяются или тарировкой или по формулам гидравлики, на которых здесь мы не будем останавливаться.

Примером устройства модулей может служить конструкция, показанная на фиг. 210; здесь расход можно считать — при одной и той же величине напора,— приблизительно пропорциональным ширине отверстия; сверху вдоль отверстия наносятся деления, непосредственно дающие величину расхода по ширине отверстия.

Конструкция прибора Понселе — с выдвигаемой шторкой в вертикальном направлении — показана на фиг. 211.

В фермерских хозяйствах США широко применяют водяной модуль, показанный на фиг. 212.

§ 110. Определение расхода по уклону и живому сечению

1. Приближенно расход может быть вычислен путем определения величин, входящих в известную формулу:

$$Q = \Omega \cdot v_{ср} = \Omega \cdot C\sqrt{RI}. \qquad (147)$$

Для вычисления расхода в этом случае надо определить: 1) площадь живого сечения; 2) гидравлический радиус; 3) продольный уклон потока; 4) значение шероховатости русла, от которой зависит величина C.

Участок реки для такого рода измерений должен быть выбран по возможности с однообразным продольным и поперечным профилями и с условиями течения, наиболее близко подходящими к равномерному движению потока, для которого выведена приведенная формула.

Этими условиями в значительной мере определяется возможная близость результатов к действительности. Площадь живого сечения, вводимая в расчет, должна быть найдена как среднее арифметическое из ряда площадей, взятых на всем протяжении участка. Точно так же в расчет вводится средняя величина гидравлического радиуса, вычисляемая по взятым расчетным площадям живого сечения. В реках широких значение R может быть заменено величиной средней глубины T.

Уклон поверхности воды обычно определяют при помощи нивелировки уреза воды (лучше — у обоих берегов); применяются также в таких случаях нивелировки по стрежню реки при помощи реечек, закрепленных вертикально на поддерживающих их поплавках; уклон получается как частное от деления падения реки на длину ее по стрежню.

Длина расчетного участка должна быть взята такой, чтобы ошибки в определении падения реки не влияли существенно на точность вычисления уклона.

При пользовании для определения падения технической нивелировкой расчетное падение на участке практически должно быть не менее 4—5 *см*, если считать возможную суммарную ошибку нивелировки (при коротком расстоянии) в 0,004 *м*, а предел допустимой ошибки в вычислении уклона — в 10%.

В условиях равнинных рек указанная величина падения — 4—5 *см* — отвечает более или менее значительному протяжению реки; так, например, при $I = 0{,}00005$ имеем $L = 800$ *м*, т. е. весьма значительное протяжение.

Это последнее обстоятельство трудно совместимо с другим основным требованием — однородности участка. Поэтому целесообразно применение особых приспособлений, уточняющих определение уклона.

При пользовании для определения уклона уклонными водомерными постами необходимую точность отсчетов по ним также надо иметь в виду; эту точность отсчетов можно повысить применением особых уточняющих приспособлений (§ 31).

Коэфициент C в формуле Шези может быть вычислен по формуле Гангилье-Куттера

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{I}}{1 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{I}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}} \text{ (в метрических мерах)}, \qquad (148)$$

по новой формуле Базена

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}} \text{ (в метрических мерах)}. \qquad (149)$$

Этими формулами следует пользоваться предпочтительно перед другими, известными из курса гидравлики.

Для определения коэфициентов шероховатости n и γ лучше всего пользоваться классификацией коэфициентов шероховатости или «русловых коэфициентов», по терминологии инж. М. Ф. Срибного, составленной последним на основании довольно многочисленного опытного материала.

Классификация инж. М. Ф. Срибного дается им для n — Гангилье-Куттера и γ — Базена и, повидимому, выгодно отличается от ранее предложенных как большей разработанностью объективных характеристик естественных русел, так и более широкой шкалой градаций n и γ, что, несомненно, гораздо ближе к истине, чем широко известные шкалы Гангилье-Куттера и Базена. При сомнениях в величине числового значения n и γ автор таблицы рекомендует брать эту величину по соседней высшей категории (см. табл. 22).

ТАБЛИЦА 21

Значения C уравнения Шези $v = C\sqrt{RI}$ при γ классификации Срибного применительно к формуле Базена: $C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma}{\sqrt{R}}}$

R \ γ	1,25	1,75	2,00	2,75	3,75	5,50	7,00	9,60	12,00	20,00
0,30	26,6	20,7	18,6	14,5	11,1	7,56	6,30	5,00	3,80	2,32
0,40	29,2	23,1	20,9	16,3	12,6	8,98	7,22	5,69	4,35	2,67
0,50	31,4	25,0	22,5	17,8	13,8	9,92	7,90	6,35	4,83	2,97
0,60	33,4	26,7	24,3	19,1	14,9	10,7	8,44	6,90	5,27	3,25
0,70	35,0	28,1	25,7	20,3	15,9	11,5	9,3	7,37	5,68	3,50
0,80	36,3	29,4	26,8	21,3	16,7	12,1	9,8	8,11	6,05	3,72
0,90	37,5	30,6	28,0	22,3	17,5	13,0	10,4	8,28	6,35	3,94
1,00	38,7	31,6	29,0	23,2	18,3	13,4	10,9	8,70	6,69	4,13
1,50	43,1	35,8	33,1	26,8	21,4	15,8	13,0	10,8	8,07	5,03
2,00	46,1	38,9	36,1	29,6	23,8	17,8	14,6	12,3	9,17	5,77
3,00	50,5	43,3	40,3	33,6	27,4	20,8	17,3	14,5	11,0	6,90
4,00	53,5	46,4	43,5	36,7	30,3	23,2	19,3	16,4	12,4	7,90
5,00	55,8	48,7	45,9	39,0	32,5	25,1	21,0	17,9	13,7	8,75
7,00	59,1	52,3	49,5	42,6	36,2	28,2	23,9	20,5	15,7	10,2
10,00	62,3	56,0	53,3	46,5	39,8	31,7	27,1	23,4	18,2	11,9
15,00	65,7	59,9	57,2	50,9	44,1	36,0	31,0	27,1	21,2	14,1
20,00	68,0	62,5	60,1	54,0	47,3	39,0	33,8	29,9	23,6	15,9

Ввиду недостаточной полноты приведенных характеристик n и γ для встречающихся в природе условий следует всегда, когда это возможно, в расчет вводить значения n и γ, определяемые по данным непосредственных измерений расходов для рассматриваемых участков или аналогичных им (§ 107). Отметим, что вычисле-

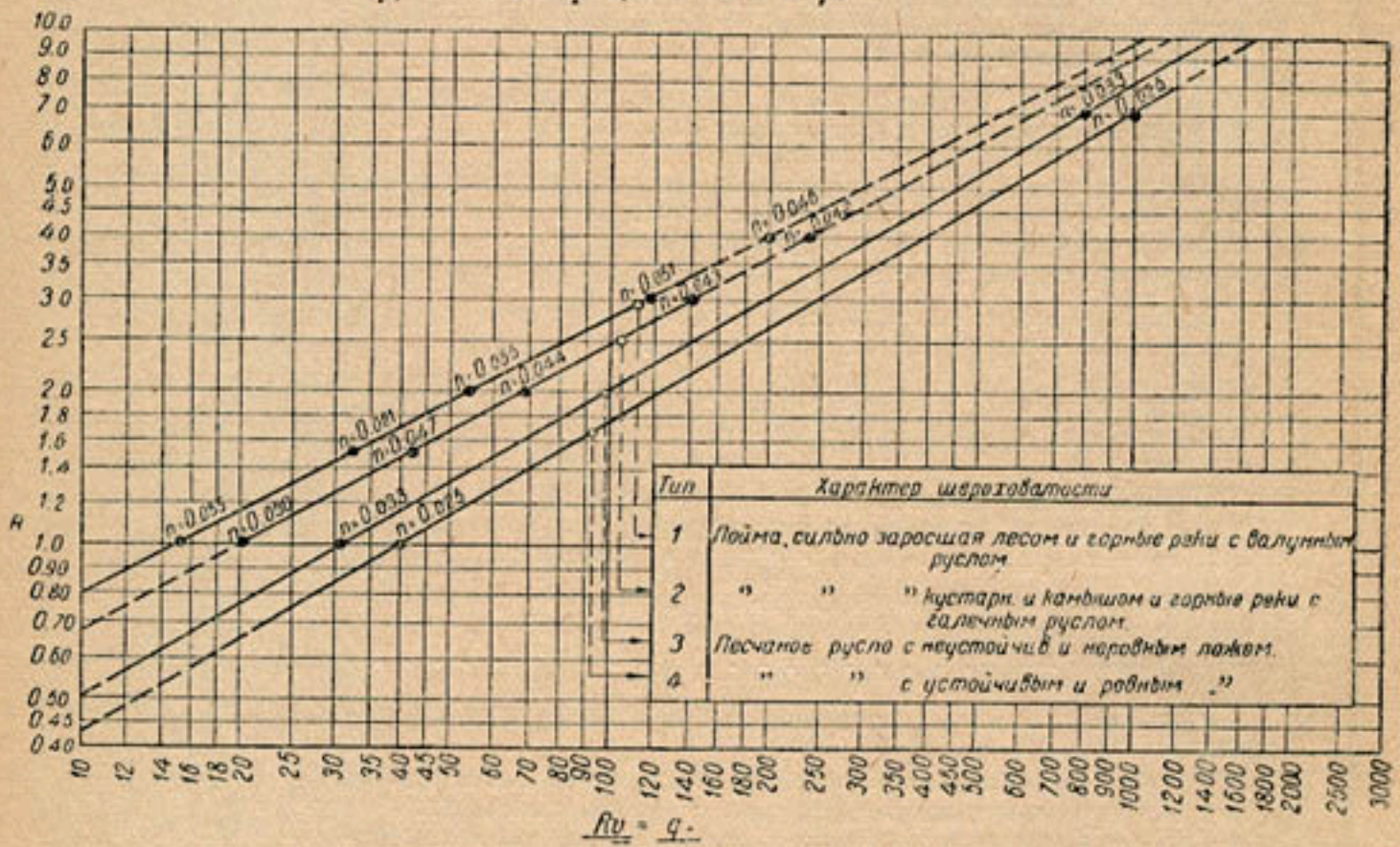
ТАБЛИЦА 22

Классификация русловых коэфициентов естественных водотоков

№ категорий	Характеристика русла	$\frac{1}{n}$	n	γ
1	Естественные русла в весьма благоприятных условиях (чистое, прямое, незасоренное, земляное, со свободным течением, русло)	40	0,025	1,25
2	Русла постоянных водотоков равнинного типа (преимущественно больших и средних рек), в благоприятных условиях состояния ложа и течения воды			
	Периодические потоки (большие и малые) при очень хорошем состоянии поверхности и формы ложа	(35) 30	— 0,033	(1,75) 2,00
3	Сравнительно чистые русла постоянных равнинных водотоков в обычных условиях, извилистые, с некоторыми неправильностями в направлении струй или же прямые, но с неправильностями в рельефе дна (отмели, промоины, местами камни)			
	Земляные русла периодических водотоков (сухих логов) в относительно благоприятных условиях	25	0,040	2,75
4	Русла (больших и средних рек) значительно засоренные, извилистые и частично заросшие, каменистые, с неспокойным течением			
	Периодические (ливневые и весенние) водотоки, несущие во время паводка заметное количество наносов, с крупно-галечным или покрытым растительностью (травой и пр.) ложем			
	Поймы больших и средних рек, сравнительно разработанные, покрытые нормальным количеством растительности (травы, кустарника)	20	0,050	3,75
5	Русла периодических водотоков, сильно засоренные и извилистые			
	Сравнительно заросшие, неровные, плохо разработанные поймы рек (промоины, кустарники, деревья, с наличием заводей).			
	Галечновалунные русла горного типа, с неправильной поверхностью водного зеркала			
	Порожистые участки равнинных рек	15	0,067	5,50
6	Реки и поймы, весьма значительно заросшие (со слабым течением), с большими глубокими промоинами.			
	Валунные, горного типа, русла с бурливым, пенистым течением, с изрытой поверхностью водного зеркала (с летящими вверх брызгами воды)	12,5	0,080	7,00
7	Поймы такие же, как предыдущей категории, но с сильно неправильным косоструйным течением, заводями и пр.			
	Горноводопадного типа русла с крупновалунным извилистым строением ложа, перепады ярко выражены, пенистость настолько сильна, что вода, потеряв прозрачность, имеет белый цвет; шум потока доминирует над всеми остальными звуками, делает разговор затруднительным	10	0,100	9,00
8	Характеристика горных рек примерно та же, что и предыдущей категории			
	Реки болотного типа (заросли, кочки, во многих местах почти стоячая вода и пр.).			
	Поймы с очень большими мертвыми пространствами, с местными углублениями — озерами и пр.	7,5	0,133	12,0
9	Потоки типа селевых, состоящие из грязи, камней и пр.			
	Глухие поймы (сплошь лесные, таежного типа)	5	0,200	20,0

ние величины средней скорости может быть выполнено на основе измеренного уклона также не по формуле Шези, а по формулам, не содержащим величины C и, значит, без определения n или γ. Таковы, например, известные из курсов гидрологии формулы Линдбоэ, Матакевича, Христена и др.; от такого рода формул можно, однако, ожидать более значительных ошибок.

В отношении порядка вычислений следует иметь в виду такое весьма важное положение. Если вычисляется расход для живых сечений, отдельные части коих разнохарактерны, например, коренное русло и пойма, то нужно иметь в виду и е о б х о д и м о с т ь р а с ч л е н е н и я в ы ч и с л е н и й: отдельно для коренного русла и отдельно для правой и левой пойм; непринятие этого в расче может повести к крупным ошибкам ввиду разного значения для этих частей реки не только R или $h_{ср}$, но и коэфициентов n и γ.



Фиг. 213. Зависимости $q' = f(R)$ Б. В. Полякова.

2. Описанный метод вычисления расхода более всего имеет применение в тех случаях, когда необходимо определить максимальный возможный расход потока т е о р е т и ч е с к и, используя для этого лишь косвенные данные. В этом случае нужные для вычисления расхода величины могут быть определены так. Выбирается возможно правильный участок реки, нужной для расчетов длины. На этом участке по опросам старожилов или путем внимательного осмотра местности устанавливают метки самых высоких вод. Далее, выполняется съемка участка, на основании которой должны быть получены ряд поперечных профилей участка и его продольный профиль. По поперечным профилям вычисляют расчетные Ω и R (или T) отдельно для коренного русла и для обеих пойм. Нивелировкой отметок самых высоких вод определяется уклон I, имевший место при проходе самых высоких вод. Коэфициенты n или γ выбираются в соответствии с характеристиками участка.

Если принятые метки самых высоких вод не дают возможности установить вероятную величину уклона (ввиду недостаточности или приближенности данных такого рода), то расчетный уклон можно определить еще такими способами: 1) принять, что уклон высоких вод практически мало отличается от уклона потока в момент выполнения съемки и, определив этот последний, вводить его в расчет; 2) определить средний для участка уклон коренного русла путем проведения на продольном профиле потока осредняющей линии дна и принять за расчетный этот

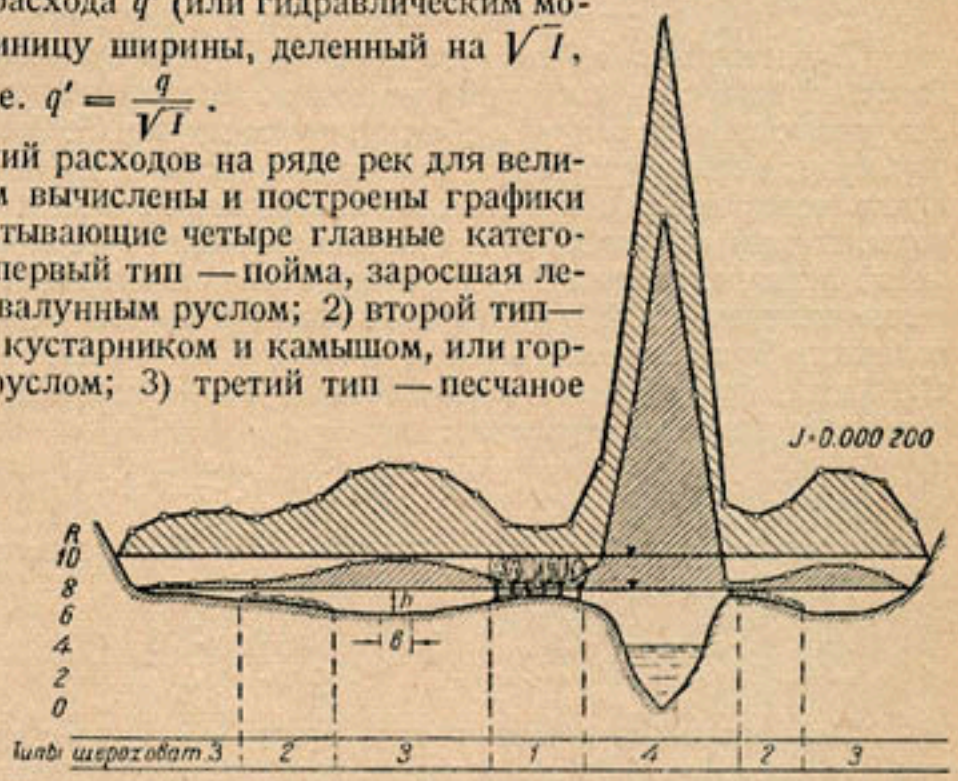
уклон (что хуже отмеченного в п. 1). Понятно, что оба этих пути могут дать только весьма грубое приближение к действительности, имеющее все же ценность ориентировочной характеристики, заменяющей отсутствие более точных данных; в средних условиях можно ожидать ошибки порядка 30—40%.

3. Инж. Б. В. Поляковым недавно (1934 г.) предложен (в развитие идей проф. Б. А. Бахметева и немецкого способа Меттлера) аналогичный новый способ вычисления расхода на основании гидравлических характеристик потока; способ этот интересен по своей идее и поэтому заслуживает внимания.

Способ этот состоит в определении расхода при помощи кривых модулей элементарных расходов. По аналогии с «модулем расхода» акад. Н. Н. Павловского и «пропускной способностью» Б. А. Бахметева, Б. В. Поляков называет модулем элементарного расхода q' (или гидравлическим модулем) расход q на единицу ширины, деленный на $\sqrt{I}$, где I — уклон реки, т. е. $q' = \frac{q}{\sqrt{I}}$.

По данным измерений расходов на ряде рек для величин q' Б. В. Поляковым вычислены и построены графики модулей $q' = f(R)$, учитывающие четыре главные категории шероховатости: 1) первый тип — пойма, заросшая лесом, или горные реки с валунным руслом; 2) второй тип — пойма, сильно заросшая кустарником и камышом, или горные реки с галечным руслом; 3) третий тип — песчаное русло с неустойчивым и неровным ложем; 4) четвертый тип — песчаное русло с устойчивым и ровным ложем.

Эти зависимости показаны на фиг. 213. Вычисление расхода производится следующим образом:



Фиг. 214. Построение эпюры элементарных гидравлических модулей.

Строится поперечный профиль живого сечения (фиг. 214), на котором отмечаются элементы, характеризующие шероховатость (лес, луг, кустарник, песчаное русло и др.). На живое сечение наносятся вертикали во всех характерных точках переломов дна; для каждой вертикали, пользуясь отвечающей ей характеристикой шероховатости и графиком $q' = f(R) = f(H)$ (фиг. 213), вычисляется величина отвечающего ей гидравлического модуля — элементарного расхода; по этим последним величинам строится эпюра гидравлических модулей (фиг. 214). Планиметрирование этой эпюры дает величину модуля всего расхода $\frac{Q}{\sqrt{I}}$; помножив эту последнюю на $\sqrt{I}$, получают искомую величину расхода, отвечающего взятому уровню. Удобно также аналитическое вычисление расхода, особенно если расстояние b между взятыми вертикалями одинаково. В этом случае (если к тому же b весьма мало по сравнению со всей шириной живого сечения B), вычислив модули элементарных расходов на отдельных вертикалях, модуль всего расхода можно определить простым суммированием значений q' и умножением этой суммы на расстояние между вертикалями b: $\frac{Q}{\sqrt{I}} = b\sum\frac{q}{\sqrt{I}}$.

Искомый расход получается тогда путем умножения на $\sqrt{I}$ модуля расхода

$$Q = b \cdot \sum \frac{q}{\sqrt{I}} \cdot \sqrt{I_0}. \qquad (150)$$

Уклон I_0 для высоких горизонтов можно принимать равным общему падению русла реки или поймы.

Из фиг. 213 видно, что влияние шероховатости русла и поймы реки на общий расход реки по мере увеличения глубин (или R) уменьшается; значения коэфициента шероховатости для различных горизонтов применительно к формуле Маннинга надписаны на фиг. 213 у соответствующих кривых $q' = f(R)$.

§ 111. Способ смешения

Определение расхода при помощи способов смешения коренным образом отличается от всех вышеописанных методов. В этом способе не требуется никаких измерений ни живого сечения, ни скоростей, ни уклонов. Требуется наличие лишь одного условия: достаточно быстрого течения при каком угодно состоянии русла.

1. Сущность способа состоит в следующем:

Представим себе, что в течение некоторого времени в поток впускается добавочный постоянный расход q, представляющий раствор какого-либо вещества с концентрацией c *г/л* или, что то же, *кг/м*³. Этот раствор, попадая в поток, будет в силу турбулентности течения постепенно смешиваться с водой потока. Пусть через некоторое время, когда процесс перемешивания закончится, проба воды, взятая из потока в некотором расстоянии от места впуска, будет иметь концентрацию, равную C *кг/м*³, причем эта концентрация будет во много раз меньше концентрации c. Обозначим то количество вещества концентрата, которое может содержаться в естественной воде потока, т. е. до момента впуска раствора, через C_1. Тогда, если обозначить неизвестный расход воды потока через Q, можно написать следующее соотношение:

$$(Q + q)C = QC_1 + qc, \tag{151}$$

что выражает одинаковость расхода растворенного вещества.

Из соотношения (151) можно получить

$$Q = q\left(\frac{c - C}{C - C_1}\right). \tag{152}$$

Концентрация в воде потока всегда составляет ничтожную долю концентрации раствора (обычно меньше одной тысячной), так что пренебрежение ею может дать ошибку порядка менее 0,1%. Поэтому, пренебрегая величиной C в числителе выражения (152), можно получить

$$Q = q \cdot \frac{c}{C - C_1}, \tag{153}$$

Наконец, если пренебречь содержанием естественной примеси вещества концентрата в потоке C_1, то получим

$$Q = q\frac{c}{C}. \tag{154}$$

Таким образом в общем случае для вычисления расхода по способу смешения нужно знать такие величины: 1) расход раствора q; 2) его концентрацию c; 3) концентрацию C в воде потока впускаемого в него вещества после перемешивания этого вещества с водой потока и 4) естественную концентрацию в воде потока вещества впускаемого концентрата C_1.

2. Оборудование при измерениях по способу смешения должно состоять из следующего: 1) впускового сосуда, обеспечивающего постоянство поступающего в поток раствора; 2) приспособлений для забора проб из воды потока; 3) оборудования для определения концентрации впускаемого раствора в воде потока.

3. Раствор может быть приготовлен или из красящих веществ (аналиновая краска — эозин, флуоресцин), или из раствора солей: серная кислота, гипосульфит, поваренная соль; наиболее удобным и дешевым является применение поваренной соли, почему ею и пользуются чаще всего. Раствор поваренной соли берется близкий к насыщению (250—300 *г/л*), и обычно расход его составляет

2—3 *л/сек* на 8—10 *м³/сек* расхода потока; нижним пределом полученной концентрации в потоке обычно берут 1 : 30 000.

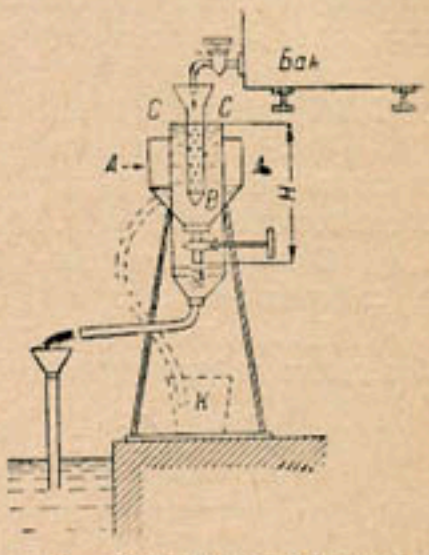
Раствор флуоресцина может быть обнаружен в воде с точностью в 1% при растворении в 1 : 1 000 000.

На 1 *м³* расхода необходимо примерно 1 *г* флуоресцина.

Для вод с большим содержанием солей можно применять кислотные и щелочные соединения; для канализационных вод применяют гипосульфит натрия.

4. Место впуска выбирается такое, чтобы наилучшим образом обеспечить быстрое и полное перемешивание впускаемого раствора с водой потока. Это имеет место перед перепадами, порогами, быстринами и т. п. Минимальное расстояние от места впуска до места взятия проб может быть определено опытным путем; более значительное удаление места взятия проб от места впуска раствора невыгодно, так как это увеличивает продолжительность измерения и, значит, количество впускаемого раствора.

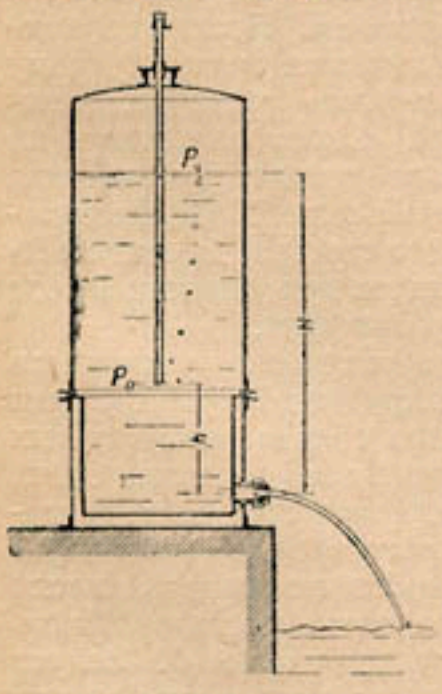
Пробы лучше всего брать в ряде точек живого сечения, выбранного для взятия проб, сливая эти пробы вместе. Для взятия проб можно применить ряд литровых бутылок, подвешенных на тросе, перетянутом через поток.



Фиг. 215. Сосуд Уивина.

5. Продолжительность впуска раствора в поток зависит от ожидаемой величины расхода последнего и колеблется в пределах от 5 мин. (для малых потоков) до получаса и даже больше — для более значительных рек.

6. Впусковые сосуды существуют различных устройств (Мариотта, Штромейера и др.). Наиболее употребителен сосуд Уивина (по принципу которого устроен ряд иных сосудов, например, француза проф. Жирана, Штромейера и др.), показанный на фиг. 215. Постоянство расхода достигается в нем постоянством напора. Раствор поступает в этот сосуд *B* из бака, помещенного вблизи, в количестве, немного превышающем постоянный расход раствора *q*, и излишек его сливается через водослив *CC*, откуда по объемлющему сосуду *AA* попадает в ведро *K*; из этого последнего раствор может быть опять перелит в бак.



Фиг. 216. Сосуд Отта.

Фирма Отта (Кемптен) изготовляет легкие переносные сосуды, устроенные по принципу Мариотта (фиг. 216), т. е. скорость вытекания остается постоянной поскольку уровень жидкости под нижним концом воздуховыводной трубки остается постоянным. Величина расхода определится так:

$$q = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2gh}, \qquad (155)$$

где f — площадь выпускного отверстия; μ — постоянный коэфициент расхода

Нормальная полезная емкость такого сосуда 120 *л*; объем сосуда и емкость могут быть сделаны более значительными. К каждому такому сосуду прилагается несколько выпускных трубок с диаметрами от 4 до 15 *мм* для возможности установления различных секундных величин расхода выпускаемого раствора. При помощи сосуда емкостью в 120 *л* могут быть измерены расходы до 10 *м³/сек* из расчета выпуска раствора в течение 5 мин. расходом в 0,35 *л/сек*.

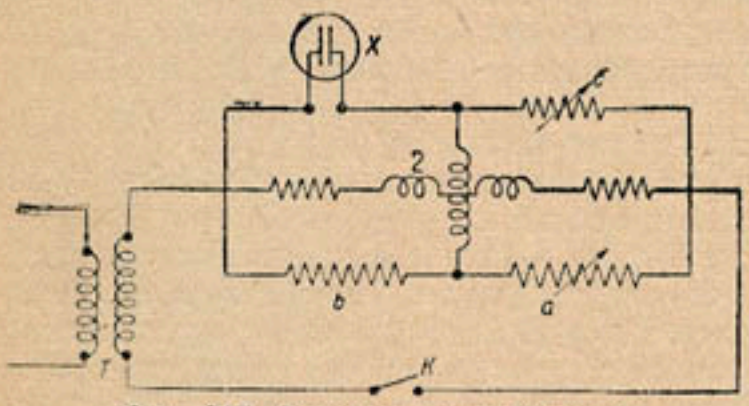
7. Определение концентрации растворителя в воде потока может быть выполнено разными способами. Можно различать три таких приема: 1) колориметрический, 2) химический и 3) электрохимический.

а) Колориметрический способ (от латинского слова «колор» — цвет) применим только тогда, когда растворителем служит красящее вещество (флуоресцин, эозин). Степень концентрации раствора в этом случае измеряется при помощи д е н з и м е т р о в; взятая после перемешивания из потока проба воды наливается в стеклянный цилиндр до такой высоты, чтобы при рассматривании сверху окраска воды была идентична окраске воды в другом цилиндре, в который налита вода с известной степенью концентрации красящего вещества. Отношение высот жидкостей в обоих цилиндрах в этом случае будет обратно пропорционально концентрациям красящего вещества, откуда и может быть определена неизвестная концентрация пробы воды из потока. Способ этот применяется в США при определении расхода воды через турбины.

б) Более распространен способ определения концентрации в пробе воды х и м и ч е с к и м п у т е м (отчего способ смешения часто называют просто химическим способом). При этом применимы как весовой, так и объемный анализы.

В первом случае проба воды, взятая в известном объеме, выпаривается, и содержание соли определяется по весу осадка.

Для получения точного результата твердый остаток, а значит, и объем пробы должны быть достаточно велики (вес осадка должен быть не менее 0,001 *г*) или же должен быть достаточно велик расход выпускаемого раствора.



Фиг. 217. Схема мостика Уитстона.

Операции по выпариванию и взвешиванию требуют наличия специальной лаборатории, оборудованной соответствующим образом, в том числе точными химическими весами.

Гораздо удобнее и проще определять концентрацию проб объемным анализом, так называемым т и т р о в а н и е м. Последнее основано на прибавке к испытуемому раствору другого раствора, вызывающего двойное разложение. Концентрацию раствора можно вычислить по количеству прибавленного вещества, необходимого для полного разложения исследуемого раствора. Титрование раствора поваренной соли (NaCl) производится путем прибавления к нему раствора азотнокислого серебра, дающего осадок хлористого серебра. Этот способ, однако, осложняется при наличии в воде органических примесей и также требует лабораторной обстановки.

в) Способ э л е к т р о х и м и ч е с к и й в последнее время применяется наиболее часто. Этот способ основан на измерении электрической проводимости раствора хлористого натрия (NaCl). Установлено, что для сильно разбавленных растворов электропроводимость, обратно пропорциональная сопротивлению, изменяется прямо пропорционально концентрации, т. е. количеству соли, содержащейся в единице объема. Так как расход впускаемого раствора и его концентрация могут быть установлены заранее, то по определенной электропроводимости воды потока в естественном состоянии и после введения в него раствора можно вычислить соответствующую концентрацию и, значит, расход потока Q. Следует иметь в виду, что на электропроводность сильно влияет температура воды; поэтому надо делать измерения при постоянной температуре или же, наблюдая за ней, вводить поправки, которые могут быть легко вычислены. Все измерения, предусматриваемые электрохимическим способом, могут быть произведены в полевой обстановке и тут же получен результат.

8. Определение электропроводности проб удобнее всего производить при помощи уравновешенного мостика Уитстона (фиг. 217). Ток во избежание поляризации электродов лучше применять переменный, от трансформатора T. Исследуемая вода наливается в сосуд X, в котором помещены 2 пластинчатых электрода; электроды включаются в одно плечо мостика, три остальных плеча представляют магазины сопротивлений или другие градуированные реостаты (a, b и c). В среднюю ветвь мостика включают чувствительный гальванометр $г$; соединение с источ-

ником тока может размыкаться ключом k. Работа прибора идет следующим порядком:

Сначала в сосуд X наливается вода из потока до впуска в него раствора, и цепь замыкается. В магазине a ставят определенное сопротивление, например, 1 тыс. *ом*; в b также ставят определенное сопротивление, зависящее от характера электродов и естественной проводимости потока (1 000—5 000 *ом*). Затем магазином c регулируется сопротивление так, чтобы в цепи гальванометра ток исчез. Далее, заменяют в сосуде X воду пробой из засоленного потока. Тогда равновесие в мостике нарушится. Не трогая магазинов b и c, увеличивают сопротивление в a до такой величины, чтобы стрелка гальванометра снова стала на нуль. Введенное добавочное сопротивление Δa, равное во взятом примере (a — 1 000) *ом*, очевидно, уравновешивает увеличение проводимости засоленной воды по сравнению с незасоленной и пропорционально ему, а следовательно, и увеличению концентрации. При таком методе можно не считаться с естественной концентрацией воды в потоке и пользоваться формулой (154).

9. Прибор может быть предварительно протарирован. Это можно сделать двояким способом.

По способу первому помещают электроды в сосуд, содержащий W литров незасоленной воды, и, уравновесив мостик, как описано выше, постепенно доливают в сосуд известные, очень небольшие, количества концентрата раствора, впускаемого в поток, тщательно его размешивая в сосуде; после каждой добавки в сосуд концентрата определяют по предыдущему величины Δa_i; этим путем можно добавить такое количество концентрата, что оно дает именно ту величину Δa_i, которая получилась при исследовании пробы из засоленного потока.

Способ второй более удобен. Он основан на следующих соотношениях: Можно написать соотношение.

$$\Delta a = K' \cdot \Delta c, \tag{156}$$

где K' — некоторый коэфициент пропорциональности, а Δc — добавочная концентрация воды в потоке после введения в него концентрата, т. е. $\Delta c = C - C_1$.

Если сосуд с электродами содержит W литров воды, а полное количество добавляемого в сосуд раствора, вызывающего полное добавочное сопротивление Δa, равно w, то можно принять, что эта концентрация равна:

$$\Delta c = c \cdot \frac{w}{W + w} \tag{157}$$

или, пренебрегая в знаменателе w,

$$\Delta c = c \cdot \frac{w}{W}. \tag{158}$$

Из соотношений (156) и (158) следует

$$\Delta a = K' \cdot c \frac{w}{W} = K \cdot \frac{w}{W} = K \frac{\Delta c}{c}. \tag{159}$$

Тогда формула (154) может быть написана так:

$$Q = q \cdot \frac{K}{\Delta a}. \tag{160}$$

Коэфициент K является для данного прибора при неизменной температуре и концентрации впускаемого раствора величиной почти постоянной.

Этот коэфициент можно определить, воспользовавшись из зависимости (159), выражением

$$K = \Delta a \cdot \frac{W}{w} \tag{161}$$

путем доливания некоторого количества раствора.

Тогда искомый расход может быть легко вычислен по соотношению (160).

10. Для вычислений расхода удобно строить диаграмму $\Delta a = f(t)$. Эта диаграмма имеет вид, показанный на фиг. 218; площадка вверху отвечает устано-

вившейся концентрации, падение величин Δa отвечает прекращению выпуска раствора в поток. При недостаточном времени выпуска раствора ход значений Δa мог бы иметь вид, как показано на той же фиг. 218 пунктиром.

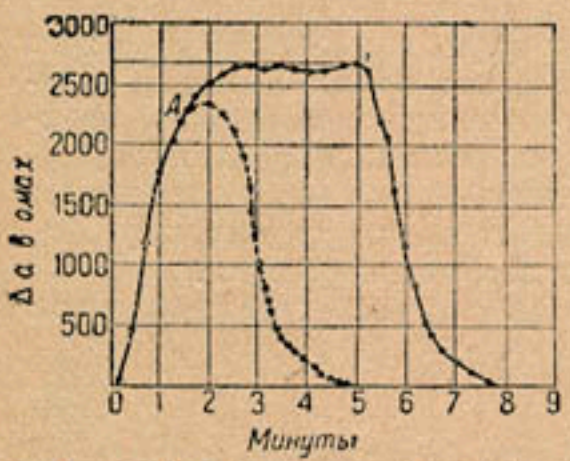
11. Аналогично изложенным выше химическим методам возможен также и тепловой способ определения расхода по принципу смешения. Допустим, что в поток более или менее значительных размеров впадает небольшой приток, температура воды которого сильно отличается от температуры в главном потоке (например, горячий ключ или поток с ледниковым питанием).

Примем обозначения: расход значительного потока Q, малого притока q; температура воды в первом потоке выше впадения притока t_1, а ниже впадения притока t_2; температура воды притока t_3.

Тогда имеем

$$Q \cdot t_1 + q \cdot t_3 = (Q + q) t_2. \qquad (162)$$

Если измерить каким-либо образом расход притока q (что может быть легче осуществлено для этого малого расхода, чем для расхода Q), то расход Q определится из соотношения



Фиг. 218. Диаграмма $\Delta a = f(t)$.

$$Q = q \frac{t_2 - t_3}{t_1 - t_2}, \qquad (163)$$

и общий расход будет равен

$$Q + q = q\left(1 + \frac{t_2 - t_3}{t_1 - t_2}\right) = q \frac{t_1 - t_3}{t_1 - t_2}. \qquad (164)$$

12. Методы смешения, в частности, метод химический, проверены в лаборатории и на практике на ряде многочисленных случаев. Средняя точность результатов оценивается как ничем не уступающая самым тщательным вертушечным измерениям, выполненным при весьма благоприятных для них условиях, т. е. эта точность измеряется единицами процентов (в полевых условиях).

Очевидные преимущества этих методов:

1) отсутствие надобности в правильном участке потока; наоборот, чем более беспорядочно течение, тем лучше осуществляется перемешивание;

2) краткий срок процесса измерений;

3) значительная простота обработки результатов (при электрическом способе);

4) пригодность наряду с открытыми руслами для русел закрытых (например, водопроводы, подводящие к турбинам камеры) и полузакрытых (например, частично покрытые льдом потоки);

5) значительная точность, выше вертушечной, на потоках с весьма турбулентным движением.

Недостатки метода сводятся к необходимости иметь довольно громоздкое оборудование для впуска раствора и для анализа проб. Необходимое для успеха применения метода хорошее перемешивание впускаемого в поток раствора затрудняется наличием тихого и спокойного течения в больших реках. Однако и здесь возможно успешное применение метода, если впуск раствора осуществлять в ряде точек поперечного профиля путем направления раствора по трубе, имеющей мелкие отверстия по своей длине, или просто путем ввода в ряде мест по отдельным впускным трубкам.

Методы смешения в последнее время все шире и шире применяются за границей, особенно в районах горных и полугорных рек.

У нас в 1912—1913 гг. были выполнены большие работы по исследованию применимости химического и электрохимического способов на Верхней Волге, у Верхневолжского бейшлота (плотины), при расходах до 60 $м^3/сек$.

Выполненные исследования подтвердили полную пригодность этих методов в названных условиях.

Пробы воды брались в расстояниях от 1 400 до 4 тыс. *м*, расход соли составлял около 11 *кг* на 1 $м^3/сек$ расхода реки при продолжительности выпуска раствора от 50 до 100 мин.

Расходы отличались от измеренных вертушкой от 0 до 10% в зависимости от выбранного расстояния, количества соли и точности методов определения концентрации.

Применялся также химический метод с успехом в Семиреченской области (1913 г.) и в более новое время на реках Закавказья (1924—1934 гг.).

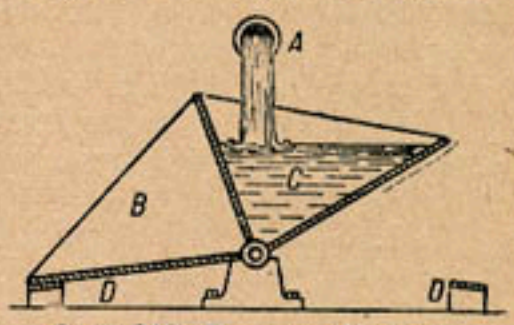
Повидимому, методам смешения должно принадлежать большое будущее.

13. Отметим, что американцами Алленом и Тейлором в 1923 г. было предложено измерять расходы путем непосредственного определения скоростей перемещения солевого раствора (солевого облачка), выпускаемого в течение 1—2 сек. Перемещение раствора может регистрироваться при помощи ряда опущенных в воду электродов, включенных в цепь с измерителями силы тока; скорость течения находится по промежутку времени между серединами обнаруживаемых максимумов силы тока.

§ 112. Объемный способ

Непосредственные приемы измерения расходов могут иметь место для небольших ручьев, канав, ключей, дренажной сети и т. п. Для этого надо иметь достаточной емкости сосуд, в который перехватывают воду из потока, расход коего необходимо определить; в случае канав и ручьев удобно для этой цели устраивать небольшие запруды или перепады, от которых вода может быть отведена при помощи лотка в измерительный сосуд; нужно иметь в виду, чтобы движение воды при этом установилось и чтобы вся вода перехватывалась лотком. Расход определяется как

$$Q = \frac{a}{t}, \qquad (165)$$



Фиг. 219. Водомер Мильна.

где a — объем воды, собираемый за время t.

Размеры измерительного сосуда зависят от величины расхода и требуемой точности ее измерения.

Сосудами для непосредственного измерения расходов могут служить ведра, бочки, измерительные ящики, цилиндрические резервуары и др. Определение объема воды, наполнившей данный сосуд за время t, можно производить разными способами: измерением объема сосудами, емкость коих известна, взвешиванием и вычислением.

По определению инж. Кочерина измерение источников с расходом до 750 $м^3$ (до 60 тыс. ведер) в сутки, при периоде наполнения ведра в 3 сек. при троекратном измерении, дает наибольшую ошибку около 4%.

На фиг. 219 схематически изображен качающийся водомер Мильна, приспособленный для непрерывного учета количества воды объемным способом. Вода, вытекающая из трубы A, наполняет поочередно 2 ящика треугольного сечения; когда ящик C будет наполнен до краев, вес воды заставит его наклониться вниз, до упора D, вода будет из него выливаться, а в это время наполняется другой ящик B. Число качаний учитывается счетчиком, а расход воды — по объему ящиков и числу их наполнений. Устроенные по этому принципу водомеры с успехом работают на Опытной придеснянской песчано-овражной станции.

ГЛАВА XX

НЕКОТОРЫЕ СПЕЦИАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

§ 113. Измерения направления струй

В ряде случаев измерение направления струй может быть поставлено как особая самостоятельная задача; такого рода исследования могут понадобиться, например, при решении вопросов о наивыгоднейшем расположении в реке отдель-

ных частей гидротехнических сооружений, о влиянии таковых на естественный режим реки и др.

Такого рода изучения чаще всего приурочиваются к периодам прохода весенних вод, ибо последние особенно сильно влияют на деформацию русла и на искусственные сооружения.

Изучению могут быть подвергнуты как направление струй поверхостных, так и глубинных; в первом случае применяют поверхностные поплавки (§ 61), во втором — гидрометрические шесты (§ 63); эти последние могут дать только результативное направление струй по принятой глубине, отвечающей взятой длине гидрометрического шеста. При необходимости дать более детальную картину распределения струй и притом не только в горизонтальной плоскости, как в двух предыдущих случаях, выполняют измерения в отдельных точках на вертикалях живых сечений, пользуясь специальными типами вертушек, регистрирующими направления струй (§ 71).

Таким образом измерения направления струй можно по характеру измеряемых величин разделить на такие группы: 1) измерения направления поверхностных струй; 2) измерения направления глубинных струй; 3) измерения направления струй в отдельных точках живых сечений.

По способам организации наблюдений при поплавочных измерениях можно различать такие измерения: 1) при помощи засечек по створам; 2) при помощи засечек без створов; 3) засечки одним инструментом без створов — «одноточечный» способ; 4) измерения привязными поплавками; первые два приема и способ четвертый осуществляются в основном применительно к тому, что было сказано о поплавочных измерениях скоростей течения (§ 87).

Длина участка, подлежащего исследованиям, так же как число и расположение профилей при работе вертушкой, определяется конкретной целью исследования.

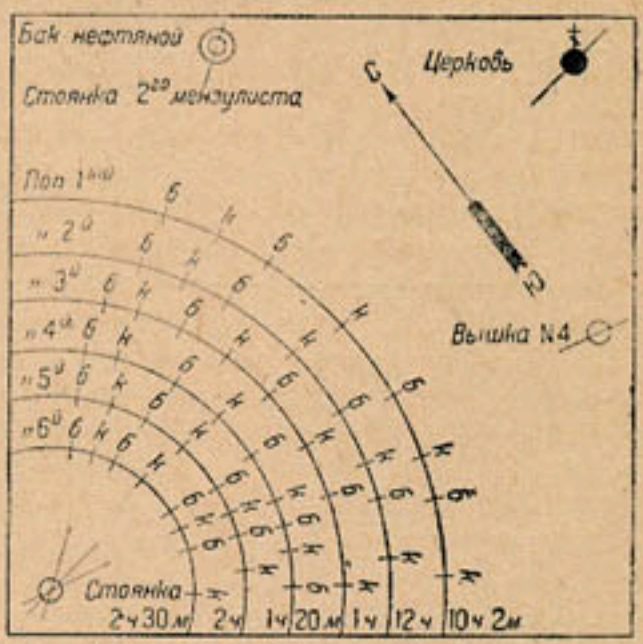
1. В случае измерений по створам работа организуется применительно к сказанному ранее об измерении скоростей поплавками (§ 87): размещают вдоль магистрали на одном из берегов (или на обоих берегах; с одного берега видимость на всю ширину реки может быть плохая) наблюдателей, снабженных сигнальными флажками и желательно биноклями; каждому из наблюдателей поручается наблюдение за проходом поплавков через определенное число створов (по условиям местности) на длине 400—600 *м*. Специальные наблюдатели ставятся, далее, у каждого мензулиста. Створный наблюдатель, поймав пущенный поплавок в поле своего зрения выше первого из порученных ему створов, следует за этим поплавком по берегу реки и, немного опередив его в момент его подхода к створу, фиксирует момент вхождения поплавка в створ отмашкой флажком (например, резким опусканием книзу поднятого перед этим флажка); удобно давать перед моментом подхода поплавка к створу предупредительный сигнал для наблюдателя у мензулы (например, подъемом опущенного до этого флажка кверху). При сигнале о проходе поплавка через створ наблюдатель при мензулисте коротким условным возгласом сообщает об этом мензулисту, и последний делает засечку на планшете, помечая эту засечку номером пущенного поплавка.

Наблюдатель при мензулисте обязан также вести ведомость пускаемых поплавков с обозначением их номеров и времени их прохода через створы.

Пуск поплавков осуществляется со специально разбиваемого пускового створа, с лодки, которая должна следовать за пущенным поплавком, в непосредственной близости от него, облегчая его нахождение наблюдателями; в лодке должны быть запасные поплавки; лодку ведут 2 гребца и рулевой. После прохождения поплавком всего изучаемого участка поплавок вылавливается, и лодка возвращается обратно.

Для надлежащего темпа работы необходимо иметь для сопровождения поплавков несколько лодок с таким расчетом, чтобы пуск поплавков выполнялся через промежутки времени, отвечающие прохождению поплавком участка наблюдений, назначенного для одного инструмента (обычно около 700—1 000 *м*), и чтобы возвращение лодки с конечного створа наблюдений не задерживало непрерывного выполнения наблюдений как на первом верховом, так и на других участках.

2. При измерениях, организуемых без разбивки створов, т. е. с засечками двумя или лучше тремя инструментами, наблюдателей-сигнальщиков помещают в лодки, сопровождающие пускаемые поплавки; кроме них в лодке еще должен находиться десятник или техник для выполнения записей подаваемых сигналов и времени пуска (по часам или секундомеру). Сигнальщиков снабжают набором ручных сигнальных флажков разных цветов (не менее трех). Засечки положения поплавков выполняются всеми инструментами одновременно по сигналам чередующимися по цветам флажками, выбрасываемыми сигнальщиками по указаниям десятника (или техника) через условленное время (1—3 мин.). В записях фиксируются номер поплавка, цвет флажка и время подачи сигнала. Засечки обозначаются мензулистами (по звуковым сигналам наблюдателей при них, как и в предыдущем случае) номером поплавка и начальными буквами цвета сигнального флажка; эти обозначения весьма облегчают последующую обработку засечек, так как возможно, что один или несколько мензулистов могут пропустить одну или несколько засечек, и тогда, если бы записи засечек были однородными, разобраться в материалах было бы очень трудно. Наблюдатели, находящиеся около мензулистов, ведут запись номеров поплавков, времени и цвета сигналов; само собой разумеется, что часы всех наблюдателей и сигнальщиков должны быть предварительно сверены. Мензулисты обязаны также отмечать на планшете время от времени засечек для облегчения последующей обработки. Точность записи времени подачи сигналов играет роль лишь в тех случаях, когда пускаемыми поплавками, кроме направления струй желают определить и скорость их хода, т. е. скорости течения. Для обозначения засечек на планшете из точки, обозначающей место стоянки инструмента (в которую ставится игла), предварительно чертится ряд концентрических кругов, на которых последовательно и делаются засечки для последовательно пускаемых поплавков; можно вместо этого засечки наносить на нанесенных заранее на планшет створах [при небольшом их числе (фиг. 220)].



Фиг. 220. Засечки на мензуле.

Само собой разумеется, что на планшетах должны иметься засечки направления стоянок остальных инструментов и ряда характерных точек на прилегающей местности.

3. Одноточечный способ определения направления струй во многих случаях может оказаться более удобным, чем иные способы; основная идея этого способа была предложена в 1928 г. Н. М. Усовым.

В более широкой интерпретации сущность одноточечного способа представим следующим образом.

Если в точке O (фиг. 221) установить теодолит по створу, перпендикулярному к направлению течения, то положение поплавка в точке 1 может быть легко найдено по вертикальному углу α_1 (фиг. 222) из соотношения:

$$l' = \frac{H}{\operatorname{tg} \alpha_1}, \qquad (166)$$

где α_1 — угол наклона луча визирования к горизонту, H — возвышение оси инструмента над уровнем воды в створе $OБ$, причем $H = D + \Delta_1 - \Delta_2$, где D — возвышение оси инструмента над отметкой Δ_1, места стоянки инструмента; Δ_2 — отметка уреза воды в створе $OБ$.

При положении поплавка в точке 2 и учете уклона поверхности воды i расстояние до этой точки по углу α_2 определится так (фиг. 222):

$$l'' = \frac{H-d}{\operatorname{tg}\alpha_2} = \frac{H-i\cdot l''}{\operatorname{tg}\alpha_2}, \qquad (167)$$

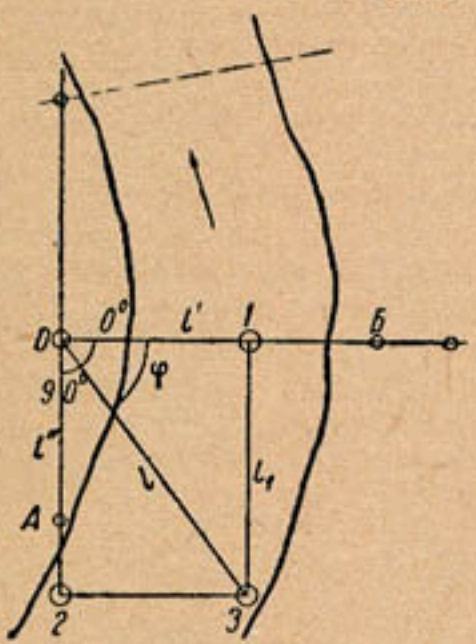
где d — расстояние между горизонтальными плоскостями, проходящими через урез воды в поперечном створе теодолита и через поверхность воды в точке нахождения поплавка.

Отсюда

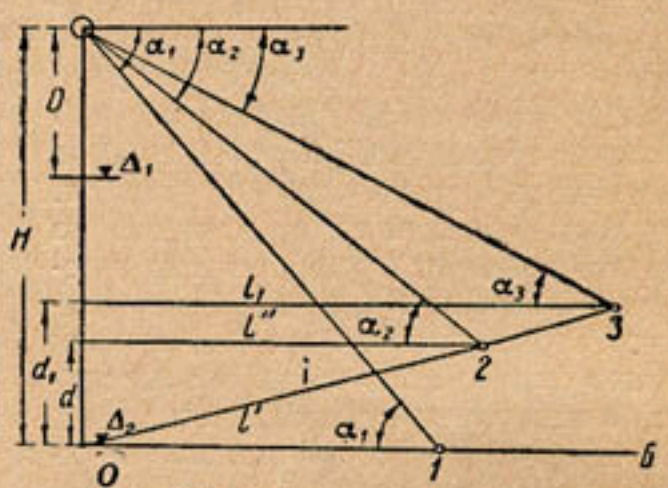
$$l'' = \frac{H}{\operatorname{tg}\alpha \pm i}, \qquad (168)$$

т. е. имеем формулу, приводимую в книге Болдакова и Бодрова [1]; знак плюс имеет в виду случай, когда измерение выполняется для поплавка, расположенного выше по течению от створа $ОБ$, а знак минус — наоборот.

При положении же поплавка в какой-либо точке 3 (фиг. 221) предыдущие формулы будут неверны [2]; в самом деле, поправку на уклон следует вводить, исходя из длины расстояния l от 0 до точки 3.



Фиг. 221. Схема к одноточечному способу, план.



Фиг. 222. Схема к одноточечному способу, профиль.

В этом случае (вывод сделан инж. А. М. Сотченко) превышение d_1 (фиг. 222) будет равно: $d_1 = l_1 \cdot i$, причем, как это видно из фиг. 221, $l_1 = l \cdot \sin\varphi$, т. е. $d_1 = l \cdot \sin\varphi \cdot i$, откуда $l = \frac{H \mp d_1}{\operatorname{tg}\alpha} = \frac{H \mp l \cdot \sin\varphi \cdot i}{\operatorname{tg}\alpha}$, окончательно получаем

$$l = \frac{H}{\operatorname{tg}\alpha \pm i \cdot \sin\varphi}. \qquad (169)$$

Это выражение имеет общее значение, давая выражения (166) и (168) соответственно при $i = 0$ и $\varphi = 0$ и при $\varphi = 90°$.

Таким образом при одноточечном способе для каждого поплавка подлежат определению величины: 1) вертикальный угол α; 2) горизонтальный угол φ.

Предварительно нужно определить: 1) место стоянки теодолита в плане; 2) отметку уреза воды у створа стоянки инструмента — Δ_2; 3) отметку стоянки инструмента — Δ_1; 4) высоту оси трубы D над точкой Δ_1; 5) уклон воды в реке между створами измерений; также нужно установить ориентирующий знак $Б$ на створе $ОБ$.

Теодолит для такой работы желателен с точностью вертикального лимба не менее 1′.

Минимальный вертикальный угол, под которым засекаются поплавки, должен быть не менее 0°20′. Следовательно, чем выше стоит теодолит, тем большие расстояния возможны для засечек; при допускаемой погрешности в определении расстояний в пределах 1—2% высота положения инструмента должна быть соот-

[1] Е. В. Болдаков и П. П. Бодров, Краткое руководство по гидрометрическим изысканиям на мостовых переходах, НКПС, УНИИТС, Трансжелдориздат, Москва, 1933 г.

[2] Эта ошибочность формулы (168) была установлена (при изысканиях на Днепре) инж. Н. Л. Кисселем.

ветственно такова: для расстояний 200—300 *м* — 5 *м*; 400—600 *м* — 10 *м*; 800—1 200 *м* — 20 *м*; 1 200—1 800 *м* — 30 *м*; 1 600—2 400 *м* — 40 *м*.

Засечки поплавков следует выполнять через интервалы, назначаемые в зависимости от скоростей течения реки с тем, чтобы расстояние между соседними точками на плане не было бы меньше 30—50 *м*; для скоростей течения порядка 0,50—1,0 *м*, интервалы между засечками поэтому можно брать порядка 1—2 мин.; при скоростях в пределах 1,0—2,5 *м* — через 30—60 сек.

Если одновременно с положением поплавков засекать также по секундомеру время, то легко далее вычислить соответствующие скорости хода поплавков.

Обработка материалов состоит в вычислении по формуле (169) горизонтальных расстояний между инструментом и точками, лежащими на линии движения поплавка, в вычислении скоростей (если это требуется) и в накладке результатов на предварительно составленный план участка реки.

Одноточечный способ следует признать достаточно надежным и особенно удобным для широких рек с высокими берегами, исключающими необходимость постройки специальных вышек; этот способ требует меньше обслуживающего персонала и потому более экономичен, чем иные.

Особенно следует подчеркнуть удобства этого способа для наблюдений за направлением струй при ледоходе: любая льдина может быть избрана наблюдателем для наблюдений и прослежена на всем ее пути по данному участку.

Впервые одноточечный способ был весьма успешно применен в 1929 г. на изысканиях мостового перехода Волги у Саратова; с высоты в 130 *м* заснимались поплавки в один конец на расстоянии до 5 *км*; с успехом применялся также этот способ инж. Н. Л. Кисселем на изысканиях Днепра.

Отметим, что при незначительных уклонах и небольших расстояниях уклоны и горизонтальные углы можно совсем не вводить в расчет из-за незначительности их влияния на конечные результаты.

4. В случае весьма коротких участков, на широких реках удобно пользоваться привязными поплавками на ниточке (§ 87), а для гидрошестов — на бечеве. При работе с поплавками (поверхностными и гидрошестами) на ниточке или на бечевке удобно пользоваться специально сконструированным для такого рода работ угломером Болдакова [1]; этот угломер рассчитан на работу вручную, с лодки, и состоит из лимба с $d = 20$ *см*, на котором нанесены деления от 0 до 180°, вращающегося на вертикальной оси отвесного зеркала посередине лимба и горизонтального индекса, передвигающегося над плоскостью лимба. Установка прибора осуществляется при помощи специальной визирки в виде стальной спицы или диоптров, поставленных на окружности лимба сзади оси зеркала. Внизу лимба имеется ручка, являющаяся продолжением оси вращения зеркала.

5. Обработка поплавочных измерений направления струй состоит прежде всего в определении точек последовательного положения каждого из пущенных поплавков; это выполняется путем нанесения на планшет при помощи транспортира соответствующих засечек. Далее, строится план русла в изобатах, и на нем прочерчиваются траектории хода поплавков; удобно выделять эти траектории разными условными обозначениями, причем обозначать различно также разные скорости хода поплавков, например, различным количеством стрелок на траектории для разных градаций скоростей.

6. При измерении направления струй вертушками должны быть прежде всего надлежащим образом выбраны места установок вертушки, т. е. места измерительных вертикалей. Выбор числа и взаимного расположения вертикалей осуществляется применительно к решению данной конкретной задачи, сообразуясь с правилами, изложенными для измерений вертушками скоростей (гл. XVII). Обозначение измерительных вертикалей выполняется

[1] Подробное описание дано в книге «Инструкция для применения привязных поплавков на гидрометрических изысканиях и угломера инж. Е. Болдакова для определения наклона струй к створу». Изд. Научно-исследовательского института транспортного строительства, 1933 г., М. — Л.

также применительно к вертушечным измерениям скоростей (гл. XVII). Створы, на которых размещаются измерительные вертикали, должны быть назначены достаточно близко один от другого.

При применении вертушек наблюдения ведутся обычно не только за направлением струй, но и за скоростями их, по обычным правилам.

Результаты наблюдений заносятся в бланки обычной формы, как для измерения скоростей, но с дополнительными графами для записи направлений струй; записи магнитных азимутов наблюдений (§ 71) могут быть приведены затем к углам, составляемым струями с плоскостью гидрометрического створа.

7. Обработка вертушечных наблюдений в рассматриваемом случае имеет целью кроме характеристик скоростей в отдельных точках получить также картину непрерывного для участка распределения струй. Для этого на плане русла наносят стрелками у каждой точки вертикали замеренное направление для разных глубин разными условными знаками (лучше всего разными цветами).

Соединив плавными линиями однохарактерные и одноименные по глубине точки, получают траектории струй, отвечающих последовательно взятым глубинам; для одинаковых градаций глубин применяют, как сказано, одинаковые условные знаки.

8. Весьма часто обработку полученных указанным образом результатов дополняют обработкой, имеющей в виду дать также мощность отдельных струй. Для этого для каждой точки измерений на данном профиле вычисляют величины живых сил, отвечающих измеренным скоростям (§ 146).

Тогда, имея вычисленные живые силы в отдельных точках, можно вычислить элементарные живые силы для отдельных вертикалей. По этим последним могут быть построены эпюры распределения элементарных живых сил в поперечном сечении, и, наконец, на плане русла нанесены изолинии одинаковых мощностей (живых сил) потока (§ 146).

§ 114. Измерения расходов шуги и льда; фильтрация в зажорах

К специальным измерениям в периоды наличия льда можно отнести следующие измерения: 1) измерения расходов шуги; 2) измерения расходов поверхностного льда; 3) измерения скоростей фильтрации воды в зажорах.

1. Измерения р а с х о д о в ш у г и могут выполняться при помощи специальных шуголовок, позволяющих регистрировать не только количество шуги, проносимой водой, но и скорости ее передвижения.

В качестве одной из возможных конструкций шуголовок приведем описание шуголовки П. Е. Вознесенского (Ташкент). Эта шуголовка (фиг. 223) представляет собой призматическую сетчатую коробку (с ячейками сетки в 2×2 *мм*) размерами $0{,}40 \times 0{,}40 \times 1{,}0$ *м*; в передней части, образующей выступ, имеется приемная щель, которая может быть при помощи оттяжки K плоской пружины E закрыта дверцей $Д$.

Внутри шуголовка разделена по высоте тремя переборками; каждая из таких секций имеет внутри с обеих сторон градуированную на сантиметры шкалу. Задняя стенка прибора — открывающаяся и служит для его опорожнения. Вес прибора — около 30 *кг*. Прибор погружается в воду при помощи штанги и устанавливается для измерений на различных точках отдельных вертикалей так, чтобы охватить измерениями весь слой плывущей шуги (через небольшие интервалы). Прибор должен выдерживаться в одной точке столько времени, чтобы было заполнено не более 90% объема какой-либо из его секций. По истечении времени наблюдения (примерно от 10 до 40 сек. в зависимости от скорости течения и количества шуги) приемная щель закрывается и секундомер останавливается. Извлеченную из воды шуголовку переворачивают щелью вверх и сливают воду и затем, разравняв слои шуги внутри секций, определяют высоту этих слоев, их объемы и общий объем шуги W; взвешиванием можно далее определить вес выловленной шуги p. Расход шуги на метр ширины потока в данной точке определяется по формуле:

$$q_ш = \frac{W}{t \cdot b} \quad м^3/сек, \tag{170}$$

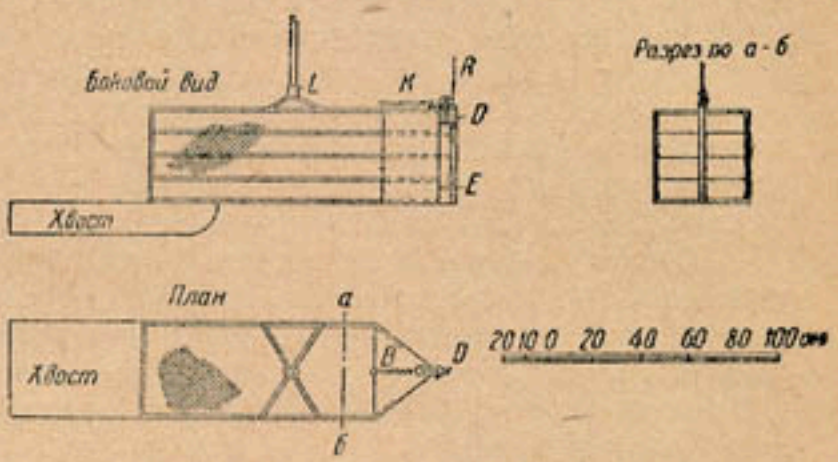
где t — продолжительность наблюдения; b — ширина приемной щели шуголовки.

Зная расходы шуги в отдельных точках взятых вертикалей, общий расход шуги подсчитывают применительно к подсчетам расходов воды. По весу шуги p и удельному весу льда (0,92) можно определить ее беспустотный объем g:

$$g = \frac{p}{\sim 0{,}92}, \qquad (171)$$

отсюда можно определить коэфициент плотности шуги $K_ш$:

$$K_ш = \frac{g}{\sim W}. \qquad (172)$$



Фиг. 223. Шуголовка П. Е. Вознесенского.

2. Измерения расходов поверхностного льда можно производить путем измерения скоростей v отдельных льдин по всей ширине реки; эти последние измерения удобно выполнять одноточечными засечками при помощи теодолита (§ 113); при этом необходимо фиксировать величину площади, перекрываемой льдом по полосе створа измерений, выражая эту площадь u в долях от всей ширины l по полосе наблюдений (например, 0,5; 0,8). Более точно площадь перекрытия ширины реки льдинами можно получить на основе специально выполняемых фотосъемок (в частности, стереофотосъемок).

Расход льда $q_л$ тогда может быть получен по формуле:

$$q_л = v \cdot u \cdot l \ м^2/сек. \qquad (173)$$

Такого рода измерения следует выполнять во время ледохода возможно чаще, например, через каждый час. Имея секундные расходы льда для ряда моментов, можно построить затем графики расхода льда по времени, беря ось абсцисс за ось времени, а ось ординат — за ось расходов льда. По такому графику (например, путем его планиметрирования) можно определить все количество льда, прошедшее за период наблюдений. Если хотя бы приблизительно определять еще толщину льда, то можно его количество выразить в кубических единицах.

3. Для определения скорости фильтрации воды в зажорах в исследованиях ГГИ на Ангаре (1931—1932 гг.) и на Неве (1933 г.) успешно применялся способ, аналогичный способу, применяемому для определения скорости движения подземных вод: в толще зажора пробивают две лунки, на расстоянии около 25—30 *см*; в верхнюю по течению лунку всыпают соль или вливают насыщенный раствор соли, замечая этот момент по секундомеру. В нижнюю лунку опускают разомкнутые проводники, находящиеся на 1—1,5 *см* один от другого; проводники эти должны быть включены в цепь из элемента и гальванометра. При переходе раствора соли из верхней лунки в нижнюю цепь замыкается и стрелка гальванометра обнаруживает отклонение; этот момент фиксируется по секундомеру. Скорость фильтрации определяется как частное от деления расстояния между лунками на определенное по предыдущему время[1].

§ 115. Изучение коэфициентов шероховатости

Коэфициент шероховатости является одной из важнейших характеристик речного русла; знание этого рода характеристик весьма полезно при выполнении гидравлических расчетов, связанных с улучшением естественных судоходных условий рек и возведением искусственных гидротехнических сооружений.

[1] См. также статью А. Т. Богданова, «К вопросу об определении расхода воды, проходящего через шугу на зашугованном створе», Гидротехническое строительство № 3, 1935 г.

В соответствии со сказанным ранее (§ 107) для вычисления коэфициента шероховатости, отвечающего тому или иному естественному участку реки, необходимо знать следующие величины: 1) среднюю для данного участка реки площадь живого сечения; 2) среднюю глубину на участке; 3) расход, проходящий по участку; 4) поверхностный уклон участка.

Поскольку для вычисления коэфициента шероховатости пользуются формулой Шези, выведенной для условий равномерного движения, весьма желательно для определения коэфициентов шероховатости выбирать участки с течением, близким к законам равномерного движения воды. Еще более важным условием при выборе места и особенно длины участка измерений является возможность достаточно точно измерить уклон реки; для этого падение горизонта воды на участке должно быть достаточно велико для измерения его с ошибкой не более 5%, при применении тех или иных способов для уточнения этих измерений (§ 31 и 110 и § 21, п. «б»—III).

Состав работы определяется следующими частными работами: 1) выбор участка (если нет стационарного участка, совпадающего с постоянной гидрометрической станцией); 2) установка приспособлений для измерений уровней и уклонов, нивелировка их и привязка к основному реперу; 3) измерение площадей живых сечений на участке; 4) определение расхода с одновременными наблюдениями над уклонами.

Работы по выбору участка совпадают с такими же для выбора в целях измерения расхода (§ 21), причем принимаются во внимание отмеченные выше особенности данного специального случая. В процессе выбора участка должна быть произведена предварительная нивелировка участка, не менее чем в трех сечениях, по кольям, тщательно забитым в уровень с водой у обоих берегов реки; нивелировку следует выполнять прецизионную. По результатам этой нивелировки определяется рабочая длина участка (см. § 21, п. «б»—III).

Приспособления для измерений уровней и уклонов могут быть осуществлены таким образом:

1. Устанавливаются свайные водомерные посты (постоянные или временные, в виде одиночных, прочно забитых свай — в зависимости от предположенного характера наблюдений); эти свайные водомерные посты должны быть приспособлены для уточнения отсчетов к применению одного из следующих приспособлений: а) измерителя Соколова; б) крючковой рейки (см. § 31); водомерные посты должны быть установлены в начале и конце выбранного участка; все они связываются нивелировкой повышенной точности или прецизионной.

2. Можно также поступить так: для измерений уровней установить один водомерный пост, именно на главном створе, предназначенном для измерения расхода, а измерения уклона выполнить: а) путем нивелировки (повышенной точности) временных кольев, забиваемых на урезе воды, в уровень с ней, по указанному выше; или б) пользуясь пловучей рейкой. Удобно для уточнения результатов нивелировки забивать в головки временных кольев или свай корабельные гвозди и притом так, чтобы шляпки этих гвоздей в точности совпадали с поверхностью воды.

Измерение площадей живых сечений выполняется по обычным правилам; промеры живых сечений должны быть выполнены по профилям, взятым возможно чаще. Из промерных живых сечений выбирается несколько расположенных примерно равномерно по длине выбранного участка и наилучшим образом отражающих особенности его (обычно числом 5—10). Эти живые сечения закрепляются и будут служить для вычисления средней площади живого сечения и других элементов расчета.

При приступе к измерениям глубин должны быть организованы строго одновременные почасовые или лучше получасовые измерения уровней на всех установленных водомерных постах.

Измерения расхода выполняются по обычным правилам на одном из створов.

После выполнения всех измерений расчетная средняя площадь живого сечения для участка определяется как среднее арифметическое из площадей назначенных ранее характерных живых сечений (числом 5—10 для участка); точно так же определяется средняя глубина.

Поверхностный уклон определяется как частное от деления падения на участке на длину его, причем в расчет вводится падение, отвечающее среднему моменту определения расхода.

Вычислив указанные величины, подставляют их в соответствующую формулу (§ 107) и определяют коэфициент шероховатости. Имея вычисленные коэфициенты шероховатости для различных уровней, можно построить кривую зависимости коэфициента шероховатости от уровня воды.

Следует отметить, что недостаточно тщательно выполненное определение величины уклона реки (что часто имеет место на практике) ведет нередко к получению совершенно мелевых результатов.

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ РАСХОДА И ВЫЧИСЛЕНИЕ СТОКА

ГЛАВА XXI

ПОСТРОЕНИЕ КРИВЫХ РАСХОДА ПРИ ОТСУТСТВИИ ЛЬДА

§ 116. Материалы и порядок построения

1. Кривой (или кривыми) расходов называется всякая графическая зависимость (или ее аналитическое выражение), устанавливающая закономерную связь между величинами расходов и соответствующими этим последним уровнями на некотором расходном водомерном посту.

Общее выражение для расхода, как известно, может быть записано так:

$$Q = \Omega \cdot v_{ср} \ (м^3/сек), \tag{174}$$

где Ω — площадь живого сечения в кв. метрах; $v_{ср}$ — средняя скорость течения в *м/сек*. Напомним (§ 107), что средняя скорость в живом сечении реки отнюдь не может быть найдена как среднее арифметическое из ряда наблюденных в отдельных точках скоростей.

Значения средних скоростей зависят от: 1) геометрических характеристик русла; 2) характеристик шероховатости русла; 3) уклона реки. Опытом установлено, что взаимное влияние этих факторов в общем случае обусловливает однозначное изменение скоростей в зависимости от изменения уровней, т. е. можно принять

$$v_{ср} = f(H), \tag{175}$$

где H — уровни.

С другой стороны, величина площади живого сечения также связана непосредственно с изменением уровней, т. е. имеем

$$\Omega = f(H). \tag{176}$$

В таком случае имеем

$$Q = f(H). \tag{177}$$

Такую зависимость расходов от уровней, изображенную графически, можно назвать о д н о з н а ч н о й кривой расхода.

Для любого уровня расход в этом случае может быть получен перемножением отвечающих этому уровню значений Ω и $v_{ср}$. Опыт показывает, что такая кривая имеет всегда выпуклость, обращенную к оси уровней.

Разные участки реки имеют различные живые сечения, уклоны и характеристики шероховатости; поэтому вид однозначных кривых расходов для разных участков реки, вообще говоря, должен быть совершенно различным.

2. На практике зависимость между уровнями и расходами далеко не всегда однозначна, как это должно бы следовать из вышеприведенного уравнения, т. е. могут быть случаи, когда один и тот же расход может проходить при разных уровнях.

Однозначность соотношений $Q = f(H)$ нарушается при наличии следующих условий:

1) резкого естественного изменения уклонов, свойственного данному участку, например, при подъемах и спадах;

2) изменяемости русла вследствие размывов или наносов;

3) наличии п е р е м е н н о г о подпора вблизи расходного водомерного поста; такой подпор может вызываться: а) работой искусственных сооружений (запруды, плотины); б) естественными условиями, например, подъемом воды в реке, принимающей воды данной реки, на которой вблизи от ее устья расположен водомерный пост; в) наличием в реке водной растительности, количество и действие коей на течение реки меняется в разные периоды вегетации; г) появлением и наличием в реке льда во всех его видах — как поверхностного, так ловучего и донного.

В приведенных случаях вместо формулы (177) кривая расходов может выражаться формулой, отвечающей какому-то семейству кривых вида:

$$Q = f(H, Z), \tag{178}$$

где Z — новый дополнительный параметр, отражающий особенности каждого из перечисленных случаев: уклон, фаза размываемого русла, фаза переменного подпора, фаза вегетации, фаза ледовых явлений.

Кроме указанного однозначность соотношения $Q = f(H)$ в известной мере всегда нарушается рядом менее существенных факторов, как, например, различиями в температурах воды, различиями в количестве несомых ею наносов, искажениями от влияния ветра, а также и от неизбежных неточностей, свойственных существующим приемам измерений расходов. Этими последними неточностями, если они не превосходят средней допустимой погрешности измерений расходов, обычно приходится, однако, пренебрегать.

Следует отметить также трудности построения кривых расходов для горных потоков, возникающие из-за таких причин: 1) изменчивость русла; 2) резкие изменения скоростного режима при больших уклонах; 3) резкие изменения уровней в течение суток.

3. Тот или иной характер связи расходов с уровнями для данного конкретного случая может быть установлен только путем выполнения соответствующего анализа исходных данных в сопоставлении с обстановкой измерений и особенностями участка, на котором расположены водомерный пост и гидрометрический створ.

Для этого надо иметь такого рода материалы:

1) материалы, содержащие общую оценку и характеристики участка расходного водомерного поста и гидрометрического створа: поперечные профиля и план участка; продольный профиль участка; словесные характеристики грунта русла и поймы; характеристики участка в отношении возможных источников переменного подпора, наличия на нем водной растительности, возможной изменяемости русла;

2) материалы, дающие числовые величины отдельных элементов измеренных расходов, а также возможно полные данные об условиях и обстановке измерений, о способах измерений, примененном инструменте, способах вычисления расхода и т. п.

Материалы, указанные в п. 1, помещаются обычно в технических списках водомерного поста и гидрометрического створа.

Материалы, указанные в п. 2, помещают в специально составляемую сводную таблицу измеренных расходов.

Эта сводная таблица может иметь примерно такую форму и содержать такие основные элементы, как в форме табл. 23.

Сводная ведомость расходов должна включать в себе все расходы, измеренные когда-либо у данного пункта. Все уровни воды в сводной ведомости должны быть приведены к одному нулю водомерного поста, к нулю наблюдений или нулю графика, но однообразно для всех измеренных расходов.

Анализ измеренных расходов служит первичною важнейшею стадией процесса построения кривых расходов. Напомним, что такой же анализ, как отмечалось, вообще говоря, следует обязательно выполнять еще до приступа к построению кривой расхода — в процессе накопления материалов для этого построения — в целях своевременного контроля измерений (§ 84) и в целях принятия надлежащих мер для регистрации дополнительных факторов, если в этом есть необходимость по имеющимся местным условиям.

В соответствии с результатами анализа, далее, выполняется построение самой кривой (или кривых) расхода, целесообразнее всего графическим путем.

Весьма часто имеющиеся измерения расходов не охватывают всей амплитуды уровней, свойственных данному водомерному посту, и нужной для последующих расчетов; в этом случае возникает задача об экстраполяции построенной кривой расхода за пределы измерений. Далее, по построенной графически кривой расходов должна быть составлена так называемая расчет-

ная таблица, фиксирующая установленные соотношения для интервалов через каждый сантиметр. После этого обычно выполняют вычисления, имеющие в виду дать оценку соответствия полученной кривой расхода действительным измерениям. Этим, собственно говоря, и заканчивается весь процесс построения кривых расходов. В качестве заключительной необязательной части, и притом только для случая однозначной кривой расходов, можно считать нахождение

ТАБЛИЦА 23

Форма сводной ведомости расходов

Хронологический порядковый номер расхода	Дата измерений			Отметки уровня при измерении			Величина расхода		Характеристики наличия льда в сечении			Русло в сечении						Отметка среднего дна над O поста $H_0=H_1-T$
					на посту							ширина реки B		глубина T		площадь живого сечения		
	год	месяц	число	на створе H_1	условн. H	абсол. $H_{абс}$	при открытом русле Q	при ледов. явлениях $Q_{яв}$	средняя толщина поверхностного льда	средняя толщина плывучего льда (шуги)	приведенная средняя толщина всего наличия льда	при открытом русле	подо льдом	средн. T	Макс. T_{max}	при открытом русле Ω	при наличии льда $\Omega_{яв}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Продолжение табл. 23

Скорости			Элементы шероховатости					Изменение уровней при измерении расходов		Способ измерения расходов				Способ вычисления расходов	Обстановка измерений расхода						
																			характери. воды и русла		
средняя $v_{ср}$	наибольшая v_{max}	наибольшая на повер. $v_{пов\ max}$	уклон реки у створа I	подводный периметр P	подводный радиус R	$C=\frac{v_{ср}}{\sqrt{RI}}$	Коэф. шероховатости $\gamma=\sqrt{R}\left(\frac{87}{C}-1\right)$	спад	подъем	прибор, его фирма и номер	штанга или трос	число скоростных вертикалей	общее число точек на вертикалях		погода	сила и направление ветра	температура воздуха	температура воды	Мутность воды: наличие посторонних плывущих тел	Характер дна реки: камни, вязкое	Особые замечания о надежности измерения
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41

аналитического выражения для полученной кривой расходов. Таким образом все операции, нужные для построения кривой (или кривых) расхода, в общем случае сводятся к следующему:

1) подбор материалов, нужных для построения (технические списки, сводная ведомость);

2) поверка материалов и их анализ;

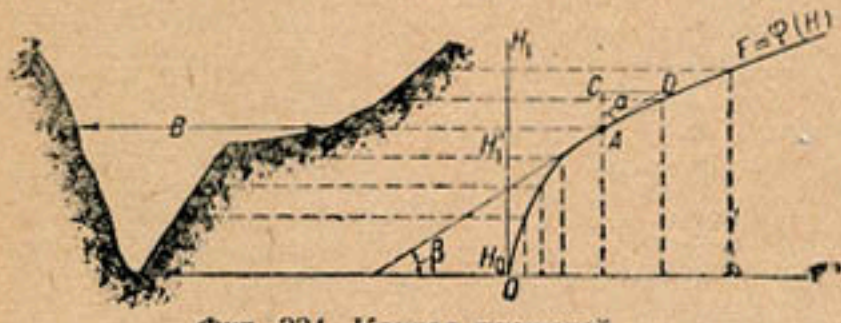
3) выполнение построения кривой (или кривых) расхода;

4) выполнение экстраполяции построенной кривой (если это нужно);
5) составление расчетной таблицы;
6) поверка найденной зависимости;
7) нахождение аналитического выражения для построенной кривой (необязательно в случае однозначной кривой и совершенно излишне в остальных случаях).

Особо следует выделить методы установления связи между расходами и уровнями для периодов наличия льда; в этих случаях задача построения кривых расхода является наиболее сложной и совершенной своеобразной.

§ 117. Анализ основных данных

1. Необходимость выполнения анализа основных данных по измеренным расходам была уже отмечена выше. В самом деле, если нанести в координатной системе: ось абсцисс — расходы, ось ординат — уровни, только точки измерений расходов, то причины возможной разбросанности на чертеже нанесенных точек будут совершенно неясны. При таком способе нахождения зависимости между уровнями и расходами в случае разбросанности точек пришлось бы поступать двояким образом: 1) или считать, что имеющая место разбросанность точек законна и все точки измерений равноценны, 2) или отбросить ряд точек, особенно резко выпадающих из общего расположения остальных точек, как неверные и дальнейшее построение вести по оставшимся точкам. Первое предположение может быть верно только тогда, когда разбросанность точек измерений не превышает той, которая обусловливается обычными неизбежными ошибками измерений, т. е., например, при измерениях вертушкой, 3—5% — для низких и средних уровней и до 10—15% для высоких уровней — при половодьях и паводках. Второй путь весьма рискован, так как серия измерений, меньшая по числу и резко уклоняющаяся от остальных измерений, может быть совершенно верной, и отклонение этих измерений от остальных может обусловливаться вполне законными причинами, указанными выше в § 116 и только лишь случайно не проявившимися на иных измерениях. Так, например, при периодически изменчивом русле измерения, выполненные в период весеннего спада одного какого-либо года и захватившие большую амплитуду уровней, могут дать совершенно согласную картину в своем расположении на координатном поле чертежа; допустим, что в последующие 2—3 года у того же пункта, но при меняющемся русле, были выполнены по 2—3 отдельных измерения; тогда эти последние 4—9 измерений могут резко отойти от общего согласного расположению серии первых измерений. Совершенно понятно, что построение кривой расходов по серии первых измерений и анулирование измерений последующих 2 — 3 лет приведут к неправильному исчислению стока за эти последние годы — систематически преувеличенному или преуменьшенному.



Фиг. 224. Кривая площадей.

Главнейшим обоснованием выполняемого анализа можно считать следующее: при данном уровне каждому значению расхода Q отвечает определенное значение Ω и $v_{ср}$, если связь между уровнями и расходами в условиях данного участка однозначна. Если же это последнее условие отсутствует, то при данном уровне H данному расходу могут отвечать разные значения Ω и $v_{ср}$. Поэтому анализ выполненных измерений расходов следует выполнять путем последовательного сопоставления общего расположения всех трех главных элементов измерений: Q, Ω и $v_{ср}$.

2. Предварительно рассмотрим, какими свойствами, вообще говоря, обладают кривые

$$\Omega = f(H) \quad \text{и} \quad v_{ср} = f(H).$$

Кривая зависимости площадей живого сечения от уровней (фиг. 224) может быть построена как по точкам, отвечающим отдельным измеренным расходам, так и по имеющемуся профилю живого сечения (до отметки самых высоких вод). В последнем случае вычисляют последовательные полосы площади живого сечения, относящиеся к выбираемым через определенные интервалы значениям уровней; вычисление этих площадей можно осуществлять аналитически путем разбивки отдельных полос на элементарные геометрические фигуры (прямоугольники, трапеции и треугольники) или же путем планиметрирования.

При правильном очертании профиля кривая $\Omega = f(H)$ получает вид плавной выпуклой кривой, обращенной своей выпуклостью к оси H; в местах резкого изменения сечения (горизонт H'_1 на фиг. 224) ломается и кривая.

Для ничтожно малого изменения горизонта увеличение площади живого сечения можно принять равным произведению ширины реки B на разность соответствующих уровней dH, т. е. имеем

$$d\Omega = dH \cdot B. \tag{179}$$

Отсюда

$$B = \frac{d\Omega}{dH} = \operatorname{tg} \alpha, \tag{180}$$

т. е. тангенс угла, образованного касательной к данной точке кривой живого сечения и осью ординат, равен ширине реки.

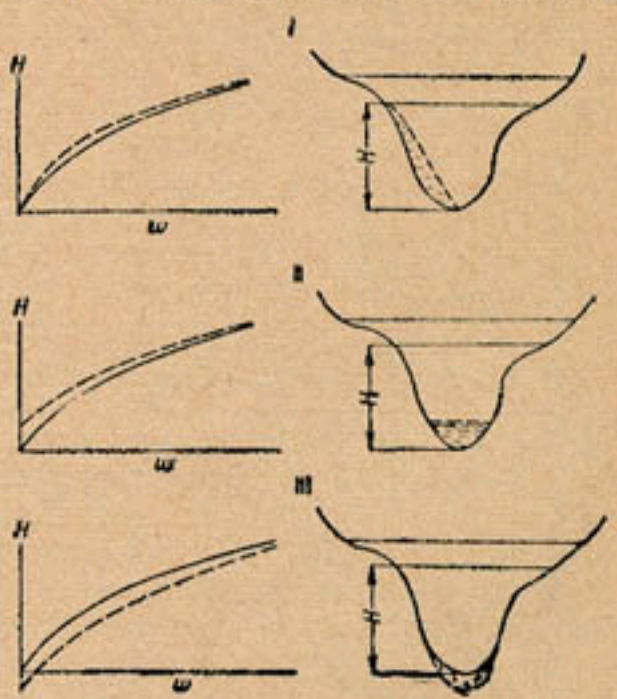
Полагая в уравнении (180) $dH = 1$, получим, что $d\Omega = B$. Следовательно, имея точку A (фиг. 224) с координатами Ω и H и зная ширину B, можно найти направление кривой в этой точке; для этого надо построить прямоугольный треугольник ACD, у которого вертикальный катет равен единице в масштабе H, а горизонтальный равен B в масштабе Ω. Тогда гипотенуза AD даст направление касательной кривой в точке A.

Отмеченные характеристики кривой $\Omega = f(H)$ делают понятными следующие положения:

1) для сечений с плоским дном кривая $\Omega = f(H)$ пересекает ось ординат под углом, тангенс которого равен ширине дна;

2) при вертикальных берегах приращение площади постоянно, и кривая $\Omega = f(H)$ обращается в прямую;

3) если имеем изменчивое русло, то кривизна кривой $\Omega = f(H)$ не меняется лишь для уровней, лежащих выше уровней размыва, а остальная часть может претерпевать различные изменения.



Фиг. 225. Кривая площадей при изменчивом русле.

Фиг. 225 дает некоторые из возможных случаев изменения русла и связанных с этим изменений положения и вида кривой $\Omega = f(H)$, понятных без особых пояснений, причем сплошные и прерывистые линии на профилях изображены соответствующими же линиями на кривых $\Omega = f(H)$.

Кривая средних скоростей может быть построена по значениям $v_{ср} = \frac{Q}{\Omega}$ и уровням воды, отвечающим измерениям расходов Q.

Если бы приближенно допустить, что величины I и C почти постоянны в некоторых пределах колебаний уровней, то можно получить, заменяя R на H (среднюю глубину):

$$v = C\sqrt{H \cdot I} = K \cdot H^{0,5}, \tag{181}$$

где $K = C\sqrt{I}$, т. е. в этом случае кривая скоростей имеет вид параболы

второй степени с вертикальной осью. Наклон ее в любой точке A (фиг. 226) с координатами H' и v получается такой:

$$\frac{dv}{dH} = \frac{K}{2H^{0,5}} = \frac{v}{2H'}; \qquad (182)$$

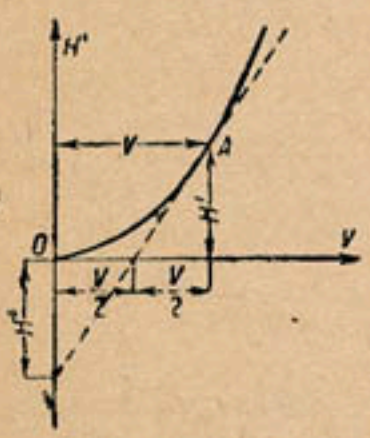
при этом касательная отсекает на горизонтальной оси отрезок $\frac{v}{2}$, а на вертикальной H'.

Однако в условиях действительности принятое допущение $C\sqrt{I} = \text{const}$ редко имеет место, особенно для значительных амплитуд колебаний уровней; с другой стороны, нередко скорости равны или близки нулю не при нулевых значениях средних глубин, как в выше рассмотренном теоретическом случае, а при наличии некоторых конечных размеров Ω и H (имеется мертвое пространство); в силу такого рода причин кривая $v = f(H)$ может принимать для реальных случаев весьма разнообразный вид, не совпадающий с приведенным на фиг. 226, например, выпуклый вид внизу и близкий к прямой вверху и т. п.

Каков бы ни был вид реальных кривых $\Omega = f(H)$ и $v = f(H)$, из изложенного видно, что кривая $Q = f(H)$ всегда должна иметь выпуклый вид, т. е. выпуклость, обращенную к оси H; обратный этому вид кривая $Q = f(H)$ могла бы иметь только в одном случае: если бы кривая $v = f(H)$ шла увеличиваясь по мере приближения к оси абсцисс, т. е. если бы по мере уменьшения глубины потока скорость возрастала, что для естественных потоков невозможно.

3. Имея в виду все вышеуказанное, анализ измеренных расходов удобно производить так.

На оси абсцисс размечают три шкалы: 1) шкала расходов (в $м^3/сек$), 2) шкала площадей живого сечения (в $м^2$) и 3) шкала средних скоростей (в $м/сек$). Масштабы выбираются так, чтобы все указанные характеристики могли быть нанесены на чертеж с соответствующей измерениям точностью; иначе говоря, 1 $мм$ делений клетчатки должен соответствовать 2—5% каждой из изображаемых характеристик в приблизительно среднем их интервале. На общий чертеж наносятся точки измерений расходов Q, измеренных площадей живого сечения Ω и вычисленные средние скорости в живом сечении $v_{ср}$ (фиг. 227). При этом следует обратить внимание на то, чтобы соответствующие величине измеренного расхода уровни действительно отвечали показаниям того водомерного поста, к которому относят выполняемое построение. При нанесении точек полезна поверка уровней, фигурирующих в записях измерений расходов, по записям водомерного поста на дни измерений. Ошибки в уровнях также отражаются на дальнейших построениях, как и ошибки в величинах расходов.



Фиг. 226. Кривая скоростей.

Точки измерений следует сопровождать надписями дат измерений, а также выделять случаи измерений при интенсивном подъеме или спаде (для того чтобы не затемнять чертежа, на фиг. 227 эти обозначения не показаны). При наличии измерений за ряд лет полезно точки измерений, отвечающие различным годам, выделять различными условными знаками.

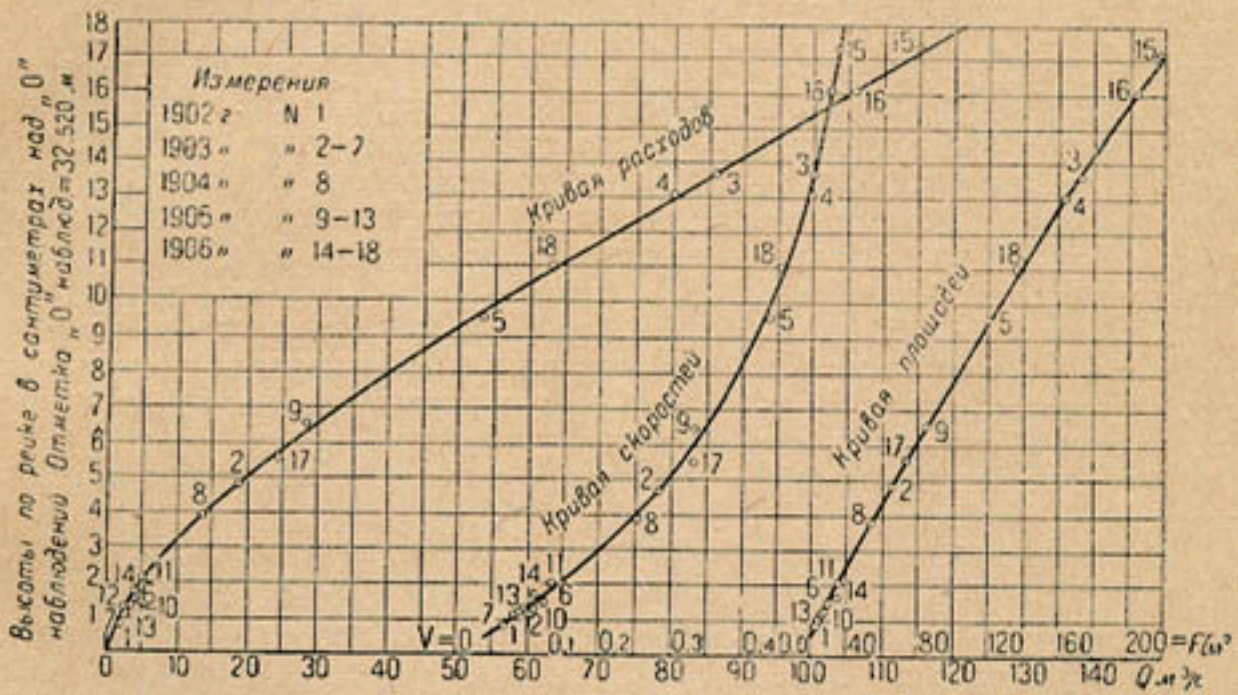
Могут иметь место такие главные случаи:

1. Точки Q, Ω и $v_{ср}$ располагаются по намечающимся правильным кривым $Q_i = f(H)$, $\Omega = f(H)$ и $v_{ср} = f(H)$; в этом случае измерения производятся правильно и условий, нарушающих однозначность соотношений $Q = f(H)$, нет. Если измерения расходов выполняются в нескольких створах, то получим несколько отдельных кривых $\Omega = f(H)$ и $v_{ср} = f(H)$, по числу створов измерений.

2. Точки Ω и $v_{ср}$ ложатся разбросанно, а точки Q — правильно; в этом случае в живом сечении створа имеют место изменения уклонов и живых сечений, но русло и уклоны у пункта измерений уровней — водомерного поста — оста-

ются неизменными. Такая же картина может иметь место при выполнении измерений не у одного створа, а в разных участках реки у водомерного поста.

3. Точки Ω ложатся правильно, а точки $v_{ср}$ и Q разбросанно; в этом случае может иметь место следующее: а) измерения производятся неудовлетворительно; б) имеют место на водомерном посту явления переменного подпора; в) имеют место явления зарастания русла; г) наконец, могут иметь место условия, благоприятствующие резкому различию уклонов при спаде и подъеме воды. Условия п. «г» могут быть установлены по обозначениям (на чертеже) спада и подъема, причем Q для спада и подъема в этом случае располагаются обычно по некоторым двум плавным ветвям (см. дальше фиг. 233); условия п. «в» могут быть выяснены из непосредственных характеристик русла; наибольшие отклонения точек Q и $v_{ср}$ влево должны иметь место в этом случае в периоды наибольшего развития вегетации в русле; условия п. «б» можно выявить построением графической связи $Q = f(I)$; при наличии переменного подпора расположение точек на таком чертеже обнаружит наличие некоторой зависимости между Q и I.



Фиг. 227. Кривые расходов, площадей и скоростей.

4. Точки $v_{ср}$ ложатся правильно, а точки Ω и Q — разбросанно; в этом случае имеют место равномерные, на более или менее значительном протяжении, изменения русла (без изменения уклона).

Результаты анализа должны дать ответ, имеется ли налицо практически однозначная зависимость или же следует искать связь между расходами и уровнями в виде какой-то многозначной функции $Q = f(H, Z)$.

При обнаружении результатов, препятствующих установлению непосредственной зависимости уровней от расходов по имеющимся данным, следует немедленно принять меры к дополнительному учету факторов, искажающих зависимость Q от H (если они не учитывались ранее — см § 84), или выбрать новые места для измерения расходов и регистрации уровней.

Для зимних измерений точки Ω, $v_{ср}$ и Q нормально должны ложиться влево и в стороне от соответствующих им по уровням летних измерений. Правильность зимних измерений ввиду значительной сложности зимнего режима реки может быть проверена более специальными приемами, которые будут изложены ниже.

Во всяком случае, расположение точек зимних измерений даже приблизительно по одной какой-либо кривой может иметь место весьма редко.

§ 118. Построение однозначной связи расходов с уровнями

Наиболее удобным и наиболее целесообразным способом нахождения зависимости расходов от уровней является способ графический. Здесь можно вы-де-

лить два случая: 1) случай хорошего расположения точек измерений и 2) случай некоторой разбросанности точек.

1. В случае хорошего расположения точек измерений кривая расходов строится после выполнения построений, указаных в § 117, простым проведением плавной кривой по выверенным предыдущим анализом точкам измерений. При этом надо иметь в виду, чтобы точки измерений лежали по обе стороны проводимой кривой и взаимно уравновешивались. Само собой разумеется, что в случае разнородных измерений, например, разными инструментами (вертушка, поплавки, батометр), более надежным измерениям следует придавать более значительный вес; в таких случаях полезно точки, отвечающие одинаковой ожидаемой надежности, выделять особыми условными знаками и особо обозначать мало надежные или сомнительные точки. Точно также строят затем кривые зависимости от уровней для площадей и для средних скоростей. Все три кривые проводятся, весьма тщательно, следя за расположением точек, сначала от руки, а потом наводятся по лекалу.

После построения всех трех кривых они должны быть взаимно сверены. Для этого на графике следует взять ряд уровней, не менее четырех (низший, высший и два промежуточных), и определить по этим уровням, по построенным кривым, значения Q, Ω и $v_{ср}$. Произведения значений $v_{ср} \cdot \Omega$ должны давать отвечающие им по уровням значения Q с расхождениями не более 1%. Если же получаются более значительные расхождения, то необходимо внимательно выяснить причину этого и исправить ту из кривых, которая в этом случае должна отклоняться от искомого ее среднего положения по отношению к соответствующим точкам измерений.

Кривые $\Omega = f(H)$ и $v_{ср} = f(H)$ весьма часто помогают более правильно определить нужное положение кривой расходов, чем это кажется на-глаз, особенно в тех интервалах, где точек измерений расходов мало или они вовсе отсутствуют (см., например, фиг. 227, интервал между уровнями 5—9).

При построениях удобно пользоваться прозрачным лекалом, линейкой или треугольником.

В случае хорошего расположения точек можно выполнять построение кривой расхода также с непосредственным учетом формы русла путем предварительного построения функции: $Q = f(\Omega \sqrt{T})$, где T —средняя глубина потока. Способ этот будет описан далее, в § 120.

2. Иногда может иметь место некоторая разбросанность точек измерений, связанная отчасти с особыми условиями прохождения расходов, разобранными выше в § 117, а отчасти с неточностью измерений в особо для этого трудных случаях (весьма медленное течение, весьма быстрое течение). Если разбросанность эта не превышает 2—3-кратной обычной точности измерений или если учесть ее не представляется возможным (за отсутствием своевременных дополнительных наблюдений), то и в этом случае связь уровней с расходами отыскивается как однозначная.

Провести на-глаз кривую в пределах той полосы, по которой ложатся в таких случаях точки измерений, довольно затруднительно. Поэтому применяют способ построения по центрам тяжести отдельных групп точек.

ФОРМА 6

Таблица расходов воды

Река _____ Бассейн _____ Водомерный пост _____

№ по пор.	№ расходов	Время определения	Уровни H на водомерном посту в *см*	Расходы воды в $м^3/сек$	№ интервалов	Средний уровень интервала	Средний расход интервала
1	2	3	4	5	6	7	8

Для этого составляют вспомогательную ведомость, выписывая в ней в возрастающем порядке их величины расходы и отвечающие им уровни. Ведомость может иметь форму, как показано выше.

В ведомости разбивают, сообразуясь с чертежом, все точки измерений на группы (интервалы); этих групп рекомендуется брать не более 10. Если точки измерений располагаются более или менее равномерно по всей высоте амплитуды уровней, то ордината делится на равные промежутки; если же точки располагаются в виде отдельных скоплений, то интервалы назначаются соответственно этим скоплениям.

В составленной ведомости выбранные интервалы отделяются друг от друга горизонтальной чертой. Далее, находят для каждого интервала средние арифметические из уровней и из расходов, предварительно проанализировав далеко отходящие в сторону точки и отбросив их в случае их явной сомнительности.

Вычисленные средние арифметические, или центры тяжести, наносят на график и проводят по полученным точкам плавную кривую сначала от руки, а потом наводя эту кривую при помощи лекала.

Точно так же ведут построение для кривых площадей и средних скоростей. В этом случае также составляются предварительные ведомости по форме вышеприведенной табл. 6 (с заменой граф 5 и 8 соответственно графами для площадей или для средних скоростей); разбивка на интервалы, сохраняется такая же, как выполненная ранее для расходов.

Далее, производится сверка сходимости результатов по всем трем кривым, как об этом было сказано для случая первого в начале этого параграфа.

§ 119. Составление расчетной таблицы и поверка найденной зависимости

Выполненные графические построения по отыскиванию кривой расходов должны быть заключены составлением расчетной таблицы связи расходов с уровнями. Такая таблица составляется для всей амплитуды наблюденных уровней, начиная от наинизших и кончая наивысшими, через каждый сантиметр. Таблица имеет вид, как показано ниже (форма 7).

Самое составление таблицы ведется так. По составленному чертежу весьма тщательно выбираются расходы, отвечающие выписанным в таблицу уровням через каждые 5—10—20 *см* в зависимости от степени кривизны кривой расходов. Чем кривая расходов положе, т. е. чем кривизна ее меньше, тем больше интервалы можно допускать. Расходы, отвечающие промежуточным значениям уровней, определяются затем прямолинейной интерполяцией.

Например, выписаны расходы: для уровня 20 *см* — 6,2 $м^3/сек$, для уровня 30 *см* — 8,4 $м^3/сек$, для уровня 40 *см* — 10,85 $м^3/сек$ и т. д.; тогда расход, отвечающий каждому сантиметру уровней выше 20 *см*, получится последовательным прибавлением к 6,2 $м^3/сек$ величины $\frac{(8,4-6,2)}{10} = 0,22$ $м^3/сек$, а для следующего интервала (начиная с $H = 31$ *см*) — прибавлением к 8,4 $м^3/сек$ величины $\frac{10,85-8,40}{10} = 0,245$ $м^3/сек$, и т. д.

ФОРМА 7

Расчетная таблица связи расходов с уровнями

Р ———, водопост у г.——— Составлена по кривой расходов для водомерного поста у г.———, построенной „———"

19——— г. по данным за ———гг.

Уровни H	Расходы Q	H	Q	H	Q	H	Q

Примечание. Нуль наблюдений совпадает с нулем графика; абсолютная отметка его—52,335. Уровни в *см*; расходы в $м^3/сек$.

Такой способ составления расчетной таблицы, во-первых, значительно ускоряет дело, во-вторых, дает плавный ход изменений расходов вместе с изменениями уровней и, в-третьих, по постепенности изменений последовательных

прибавок к взятым с чертежа опорным значениям расходов позволяет легко обнаруживать случайные ошибки и просчеты.

После составления расчетной таблицы полезно выполнить поверку сходимости результатов, даваемых таблицей, с данными действительных измерений. Эта поверка выполняется путем вычисления отклонений для отдельных измерений от найденной зависимости.

Содержание и порядок вычислений видны из нижеследующих таблиц.

ФОРМА 8

Таблица поверки найденной зависимости $Q = f(H)$

№ измеренных расходов	Дата измерений	Измерения: Уровень H	Измерения: Расход Q_1	Вычисленный расход Q_2	Разность $Q_1 - Q_2 = \Delta Q$	$\frac{\Delta Q \cdot 100}{Q_1}$ в %	+ в сторону увеличения, — в сторону уменьшения
1	2	3	4	5	6	7	8

ФОРМА 9

Таблица отклонений измеренных расходов от найденной зависимости

№ по пор.	Пределы отклонений в %	Число ошибок: абс.	Число ошибок: в %	Последов. суммы: в абс. цифрах	Последов. суммы: в %
1	0—5	60	60	—	—
2	6—10	28	28	88	88
3	11—15	10	10	98	98
4	16—20	2	2	100	100
	Итого	100	100		

Число ошибок отклонений, заключающихся в пределах 0—5% и во всяком случае — до 10%, для хорошей зависимости должно быть близко к 90%.

Характерным показателем степени соответствия расчетной таблицы действительным измерениям может служить также вероятная ошибка σ, вычисленная по Гауссу, по формуле

$$\sigma = 0{,}674 \sqrt{\frac{\sum (\Delta\delta)^2}{n}}, \qquad (183)$$

где $\Delta\delta$ — отклонения, выраженные в процентах (см. графу 7 таблицы поверки); n — число всех измерений. Величина σ не должна превышать 2—4% в случае хорошего соответствия найденных уравнений действительности.

§ 120. Экстраполяционные вычисления

1. Весьма часто измеренные расходы не охватывают всей амплитуды уровней, наблюдаемых у данного водомерного поста, между тем как для вычисления стока знание расходов, отвечающих наивысшим и наинизшим уровням, необходимо. Особенно часто в практике приходится сталкиваться с задачей экстраполяции кривой расходов вверх, ибо измерения особенно высоких расходов удается выполнять не всегда хотя бы потому, что отвечающие им высокие уровни наступают редко, не каждый год и держатся обычно очень короткое время. В таких случаях приходится применять экстраполяцию построенной зависимости $Q = f(H)$ как вниз, так и вверх, от имеющегося построения.

Если наблюденные уровни больше или меньше тех, которые отвечают измеренным расходам, на 10—20 *см*, то экстраполяция кривой расходов может быть осуществлена простым продолжением ее до нужных пределов, сообразуясь с ее ходом на выше-или нижележащих участках. В противном случае следует применять один из нижеуказанных приемов или, еще лучше, все варианты возможных экстраполяционных построений для взаимной сверки и контроля получающихся при экстраполяции результатов.

Применяемые способы экстраполяционных построений можно разбить на такие:

1) способ экстраполяции через кривые $\Omega = f(H)$ и $v = f(H)$;

2) способ экстраполяции при помощи построения функции $Q = f(\Omega\sqrt{T})$, где T — средняя глубина реки в сечении;

3) способ аналитической экстраполяции;
4) способ гидравлических модулей;
5) способ переноса расходов с соседних водомерных постов.

2. Первый из названных способов является самым простым и во многих случаях вполне надежным. Для применения этого способа нужно иметь профиль живого сечения реки по створу измерений расходов, вычерченный до уровня самых высоких наблюденных вод; такой профиль может быть получен путем выполнения промеров и нивелировки в створе измерений. По профилю живого сечения вычисляют последовательные значения Ω, отвечающие последовательным значениям H, начиная от уровней, близких к тем, при которых были измерены расходы, и кончая наивысшим наблюденным значением H (или наинизшим в случае экстраполяции вниз). По полученным парам значений Ω и H строят кривую площадей $\Omega = f(H)$ до уровня самых высоких вод (или до уровня самых низких вод в случае экстраполяции вниз); кривая эта в случае неизменного русла должна быть прямым продолжением имеющейся кривой $\Omega = f(H)$. Далее, экстраполируют кривую скоростей так, чтобы экстраполируемый участок служил плавным продолжением предыдущего ближайшего. Тогда искомые значения Q, отвечающие как промежуточным, так и крайним точкам экстраполяции, находятся простым перемножением взятых попарно с чертежа значения Ω и $v_{ср}$, отвечающих одним и тем же значениям H.

Экстраполяция кривой скоростей $v = f(H)$ большей частью осуществляется легко, так как эта кривая не меняет обычно сколько-нибудь резко своего направления, если только нет резких изменений в условиях прохода воды на створе, например, перехода реки из коренного русла в широкую пойму. В таких точках перелома профиля кривые скоростей (как и кривые площадей) могут менять свое направление. Имея это в виду, вышеуказанные построения можно считать надежными только тогда, когда русло реки, в его поперечном сечении, изменяется с увеличением высот уровней плавно и постепенно или когда имеющиеся измерения расходов достаточно хорошо определяют направление участка кривой скоростей для уровней, уже отвечающих разливу реки по пойме.

При экстраполяции кривой расходов вниз, направление экстраполяции кривой скоростей можно определить так. Отыскивают по продольному профилю реки у створа измерений тот уровень, при котором расход должен быть равен нулю (дно нижележащего переката, дно русла у створа); для этого уровня наносят на чертеж значение $v = 0$ и продолжают кривую скоростей на полученную точку.

Можно для экстраполяции кривой скоростей (так же как и для интерполяции в широких интервалах между точками измерений) применять такой способ. По действительным измерениям расходов, ближайших (по уровням) к экстраполируемому участку, определяют значение коэфициента шероховатости для данного сечения реки, пользуясь одной из приведенных в § 110 эмпирических формул для средней скорости течения. Если известен уклон реки при уровнях, близких к нужным, то искомое значение средней скорости может быть вычислено тогда, исходя из определенного по предыдущему значения коэфициента шероховатости и по гидравлическому радиусу. Уклон реки можно принимать приближенно постоянным для разных значений уровней.

3. Способ построения функции $Q = f(\Omega\sqrt{T})$ (способ Стивенса) иногда дает хорошие результаты даже при значительных амплитудах экстраполяции. Условия достаточной надежности его применения таковы: 1) отсутствие на границе экстраполируемого участка резких переломов в профиле живого сечения и 2) наличие значительных глубин (см. ниже). Способ этот основан на следующем:

Найдено, что кривая расходов может быть изображена линией, близкой к прямой, если за одну из осей координат взять $\Omega\sqrt{T}$, где T — средняя глубина реки.

Это вытекает из формулы Шези:

$$Q = \Omega C\sqrt{RI} = C\sqrt{I}\sqrt{R}\Omega.$$

Произведение $C\sqrt{I}$ для глубоких рек и для более высоких уровней (по Стивенсу) при $T > 3{,}30$ *м* практически можно считать постоянным; поэтому приближенно можно написать

$$Q = f(\Omega\sqrt{R}). \tag{184}$$

Для широких рек R близко к $T = H_{ср} = \frac{\Omega}{B}$, где B — ширина реки.

Для упрощения в расчетах поэтому удобно R заменить через $H_{ср}$; тогда получим

$$Q = f(\Omega\sqrt{H_{ср}}). \tag{185}$$

Построения ведутся таким образом. Строится профиль живого сечения в гидрометрическом створе. По этому живому сечению подсчитываются отвечающие одним и тем же уровням значения Ω, B и $H_{ср}$ и вычисляются величины $\Omega\sqrt{H_{ср}}$ — для интервалов уровней в 10 или 20 *см* высоты по рейке. Эти вычисления удобно сводить в таблицу по форме табл. 24.

ТАБЛИЦА 24

Вычисления для построения

$Q = f(\Omega\sqrt{H_{ср}})$

Значения уровней H	Соответствующие значения					
	Ω	B	$H_{ср}$	$\sqrt{H_{ср}}$	$\Omega\sqrt{H_{ср}}$	Q

Далее, строится вспомогательная кривая, дающая зависимость между уровнями H и значениями $\Omega\sqrt{H_{ср}}$ (фиг. 228), причем за ось абсцисс берутся значения H. Затем строится кривая $Q = f(\Omega \cdot \sqrt{H_{ср}})$, причем на оси абсцисс изображается шкала расходов, а ось ординат, отвечающая значениям $\Omega \cdot \sqrt{H_{ср}}$, остается общей с предыдущим построением. Поэтому точки расходов, отвечающие определенным уровням, откладываются весьма просто, именно на пересечении ординат, отвечающих этим уровням по кривой $\Omega\sqrt{H_{ср}} = f(H)$, с абсциссами, отвечающими взятым значениям расходов по шкале расходов. Кривая $Q = f(\Omega \cdot \sqrt{H_{ср}})$ получает начертание прямой при правильном сечении русла; при наличии заливаемой поймы линия $Q = f(\Omega\sqrt{H_{ср}})$ обычно сохраняет вид прямой линии для живого сечения: 1) в пределах коренного русла реки и 2) в пределах изменений живых сечений на залитой пойме; для некоторых же небольших амплитуд уровней, отвечающих переходу реки из коренного русла в пойму, имеет место переломный участок, соединяющий — также по прямой — указанные выше две прямые линии для коренного русла и поймы. При этом можно отметить весьма интересное свойство кривых $\Omega\sqrt{H_{ср}} = f(H)$ и $Q = f(\Omega \cdot \sqrt{H_{ср}})$: тот или иной индивидуальный подход в проведении отдельных участков линии $\Omega\sqrt{H_{ср}} = f(H)$ меняет только форму линии $Q = f(\Omega \cdot \sqrt{H_{ср}})$, но не меняет совершенно конечных результатов, т. е. не меняет вида кривой $Q = f(H)$. Получив кривую $Q = f(\Omega \cdot \sqrt{H_{ср}})$, легко экстраполировать ее до нужного значения $\Omega \cdot \sqrt{H_{ср}}$, отвечающего нужному значению H. Результаты этой экстраполяции нетрудно перенести на построенную ранее кривую расходов.

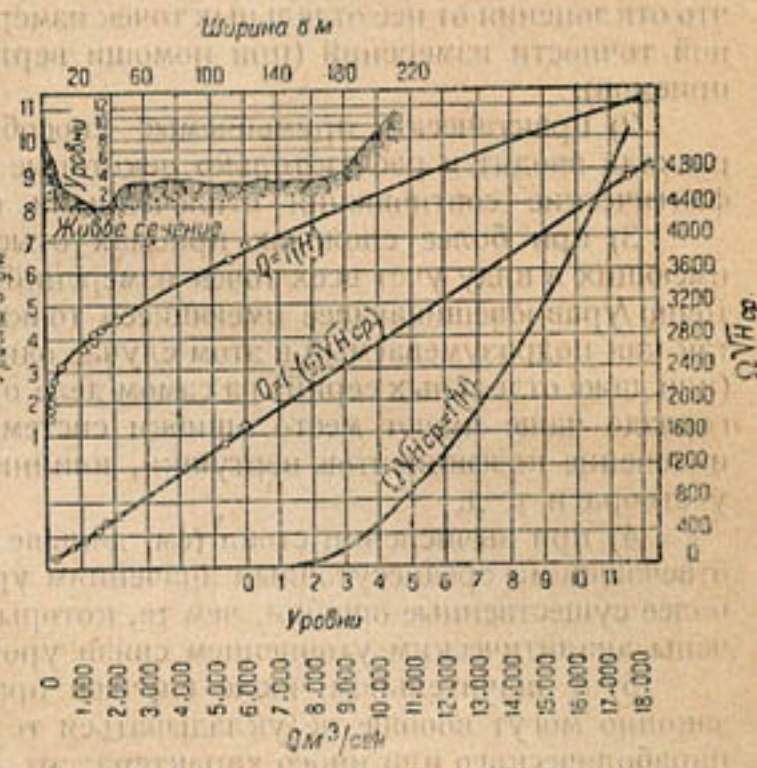
Описанный метод широко применяется в США не только для экстраполяции, но и для построения кривых расходов вообще.

Метод этот может давать хорошие результаты (при наличии вышеприведенных условий) даже при экстраполяции, превосходящей 100—150 *см* (по высоте уровней).

4. Для экстраполяционных построений можно также воспользоваться способом гидравлических модулей, предложенным инж. Б. В. Поляковым и описанным в § 110.

В этом случае можно по измеренным расходам вычислить ряд величин $\frac{q}{\sqrt{I}}$ и таким образом определить, к какой категории нужно отнести данную шероховатость, из которой и исходить в дальнейших подсчетах.

5. Под аналитическим способом можно разуметь экстраполяционные вычисления по подобранным аналитическим выражениям (§ 121) — уравнениям для построенной кривой расходов, задаваясь нужными значениями H. Экстраполяционные вычисления кривой расходов основываются на допущении, что найденное аналитическое выражение отвечает ходу кривой расхода за пределами измерений. Прием этот (как это будет яснее из изложенного в § 121) можно применять очень осторожно и только при условии параллельной поверки его путем графических построений по вышеизложенному; в противном случае, особенно при сколько-нибудь значительной амплитуде экстраполяции, результаты могут получиться совершенно не отвечающие действительности и даже явно нелепые.



Фиг. 228. Схема построений по Стивенсу.

6. Способ переноса расходов с соседних водомерных постов применим тогда, когда недалеко от данного расходного поста имеется водомерный пост с измерениями расходов для неосвещенных на данном посту участков амплитуды уровней.

Для осуществления такого переноса необходимо: 1) определить уровень H на данном водомерном посту, к которому нужно отнести расход, измеренный на соседнем посту; 2) учесть вероятную поправку к величине переносимого расхода Q на условия данного створа.

Уровень H на данном водомерном посту может быть определен или по построенной кривой связи соответственных уровней (§ 51), или по дате измерения переносимого расхода Q и вероятному сроку пробега воды между данным и вторым водомерным постом. Поправку к величине переносимого расхода определить довольно затруднительно; в простейшем случае небольшой разницы в площадях бассейнов для обоих водомерных постов (не свыше 10—15%) эту поправку приближенно можно принимать равной нулю; при более значительных разницах в площадях бассейна весьма приближенно можно принять, что переносимый расход должен быть изменен в соотношении, равном соотношению площадей бассейнов для данного и соседнего водомерных постов; такое предположение, однако может повести к недопустимым ошибкам.

Таким образом, рассматриваемый способ применим только в ограниченном числе случаев.

Необходимо предостеречь от необоснованно практикуемого в некоторых организациях использования для определения точек максимальных расходов существующих эмпирических формул для максимальных расходов; эти последние настолько грубы и настолько не учитывают особенностей отдельных рек, что даваемые ими величины могут совершенно исказить действительно существующие соотношения между уровнями и расходами.

§ 121. Нахождение аналитических выражений для кривых расхода

1. Общие замечания. Нахождение уравнения кривой расходов в общем случае можно считать необязательным для завершения построений по нахождению связи между уровнями и расходами. Связь расходов с уровнями достаточно точно может быть выражена теми графическими построениями, о которых говорилось выше.

Расчетная таблица по связи уровней с расходами (§ 119) эту связь дает в виде, удобном для непосредственного выполнения вычислений. Поэтому в ряде запад-

ных стран (например, Германия, США и др.) нахождение связи расходов с уровнями заканчивается на составлении расчетной таблицы, и никакие уравнения кривых расходов не отыскиваются.

Необязательность нахождения уравнения кривой расходов в большинстве случаев практики (см. ниже) можно пояснить такими рассуждениями.

1. Случай первый — когда имеется хорошее расположение точек измерений (§ 118); в этом случае можно отметить следующее:

1) графическое построение кривой расходов дает обычно такую кривую, что отклонения от нее отдельных точек измерений отвечают допускаемой и возможной точности измерений (при помощи вертушки или помощью других полевых приемов);

2) практически применяемые способы нахождения уравнений кривых расхода вводят в расчет только некоторые из точек измерений, т. е. подменяют фактические соотношения отвлеченными и необоснованными теоретическими;

3) при более сложных приемах отыскания уравнений кривых расходов, имеющих в виду учет всех точек измерений, искать уравнение кривой, еще более точно уравновешивающее имеющиеся точки измерений, вряд ли целесообразно, так как подразумеваемый в этом случае одинаковый вес каждой точки измерений (или даже отдельных серий) на самом деле отсутствует. При измерениях расходов гораздо чаще имеют место ошибки систематического порядка, как, например, изменение коэфициентов вертушки, влияние временных явлений в жизни реки у створа и т. д.

4) при вычислении стока (см. дальше § 134) обычно оперируют расходами, отвечающими среднесуточным значениям уровней, чем могут вводиться в расчет более существенные ошибки, чем те, которые теоретически могли бы быть исключены аналитическим уточнением связи уровней с расходами;

5) в значительном числе случаев практики точки измерений совершенно законно могут вообще не укладываться точно ни в какую правильную кривую параболического или иного характера; это может иметь место при неправильном профиле створа, при неодинаковых характеристиках русла реки (в плане и в продольном профиле) на участке ниже створа, при наличии ниже створа искусственных сооружений, притоков и т. п.; в таких случаях аналитическое выражение кривой расходов может даже ухудшить результаты, находимые простым графическим построением.

2. Случай второй — когда имеется разбросанное расположение точек (§ 118). В этом случае уточнения, которые являются целью нахождения аналитического выражения для связи расходов с уровнями, нецелесообразны ввиду значительной грубости всей схемы; там где все равно должны иметь место заведомые ошибки порядка десятков процентов, искать уточнения в единицы процентов — задача неблагодарная и себя неоправдывающая.

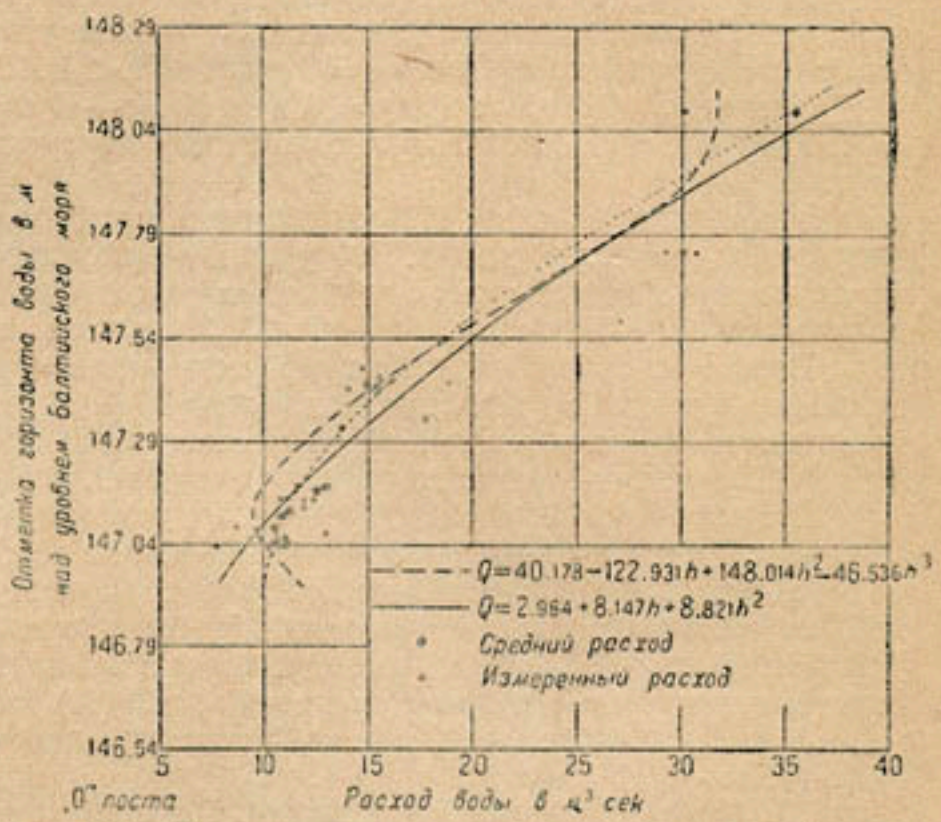
Между тем, в ряде случаев можно констатировать стремление найти связь расходов с уровнями, вовсе игнорируя все то, о чем мы говорили выше в § 116, 117, и идя только лишь путем подбора аналитического выражения. Пример такого нецелесообразного подхода к решению вопроса (взятый из печатного издания одного из республиканских центров Европейского СССР) дан ниже на фиг. 229. На фиг. 229 видно, что ни одна из приведенных двух кривых расхода, аналитические выражения коих даны на фигуре, не удовлетворяет хорошо общему расположению измеренных расходов. Совершенно неясным остается вопрос о причинах разбросанности точек; несомненно, точки отдельных измерений не являются равноценными, т. е. вес их неодинаков; авторы обработки, однако, схоластически преследуют одну цель — получить аналитическое выражение кривой расходов, и не делают попыток вникнуть в истинную оценку хода явлений. Нетрудно видеть, что новая кривая, показанная точечным пунктиром и намеченная мной, лучше отвечает измерениям, чем обе построенные авторами; мы бы, однако, не рискнули принять для расчетов и эту последнюю кривую без предварительного анализа отдельных точек.

Таким образом увлечение аналитическим выражением кривой расходов может вести к извращению самого процесса нахождения кривой расходов. От-

сюда видно, что в ряде случаев нахождение уравнений кривых расходов следует признать не только необязательным, но даже совершенно нецелесообразным и нерациональным.

Могут быть, однако, случаи, когда отыскание уравнений кривых расходов является желательным.

Такими случаями можно считать: 1) наличие сравнительно небольшого числа измерений расходов, охватывающих значительную амплитуду и в то же время обнаруживающих хорошее расположение на графике связи $Q = f(H)$; 2) наличие особых условий для особо точных измерений и необходимость особо точного вычисления стока (как, например, измерения при помощи водосливов при специальных исследованиях).



Фиг. 229. Пример неправильного построения кривой расходов.

В этих случаях не следует, однако, применять упрощенные способы нахождения уравнений, в основе коих лежит введение в расчет только некоторых из точек измерений; уравнение кривой расходов должно отыскиваться на основе обработки всех точек по всем произведенным измерениям; только в этом последнем случае найденное уравнение может правильно отобразить отыскиваемый закон изменений Q с изменением H. Таким образом в общем случае уравнениям кривых расходов можно придавать значение только лишь более короткой и компактной формы изображения связи расходов с уровнями, чем графическое построение и соответствующая расчетная таблица.

II. Общий вид уравнений. Как сказано выше, имеющие место на практике условия прохода воды у гидрометрического створа могут обусловливать самый разнообразный вид кривых, связывающих расходы с уровнями. Поэтому каждая задача по подбору уравнения кривой расхода складывается из двух основных частей: 1) выяснения общего вида возможного уравнения, наиболее близко подходящего к данному конкретному случаю; 2) определения параметров в уравнении выбранного типа.

В общем случае можно указать три таких возможных формы уравнений кривых:

1) парабола второй степени

$$Q = A + BH + CH^2 \qquad (I)$$

или упрощенно

$$Q = A + CH^2; \qquad (I')$$

2) степенная функция вида

$$Q = A(B + H)^m, \qquad (II)$$

3) логарифмическая кривая вида

$$\lg Q = \frac{H}{A} + B \qquad \text{(III)}$$

или

$$Q = He^{\frac{H}{A}}. \qquad \text{(III')}$$

В приведенных уравнениях Q — расходы; H — уровни воды по рейке водомерного поста; A, B, C и m — параметры, подлежащие определению по данным действительных измерений; e — основание натуральных логарифмов.

Уравнение (I) отвечает случаю правильного русла у створа и условию незначительных изменений уклонов при изменениях уровней. Это уравнение имеет тот недостаток, что для $Q = 0$ и при $B^2 < 4AC$ оно дает мнимое H.

Уравнение (II) дает: 1) $Q = 0$ при $H = -B$ и 2) $Q = A$ при $(B + H) = 1$; это уравнение отвечает более широкому кругу случаев, возможных в практике.

Наконец, уравнение (III) может иметь место при более резких изменениях выпуклости кривых расходов. Это уравнение полезно применять в тех случаях, когда по предварительным вычислениям показатель степени в уравнении (II) получается очень большим, порядка 20, 30 и больше.

Весьма часто полученная графически кривая расходов не укладывается целиком ни в одно из вышеприведенных уравнений; обычно резким изменениям живого сечения отвечают изменения и в ходе кривой расхода, связанные с изменением параметров соответствующих уравнений.

В таких случаях необходимо подбор уравнений вести для отдельных участков кривой, выделяя предварительно таковые на чертеже сначала приближенно, по соображению с общим ходом кривой, затем более точно, исходя из границ участков, охватываемых уже подобранными уравнениями.

Практический порядок подбора вышеуказанных видов уравнений можно рекомендовать такой: сначала уравнений вида (II) или (I), затем, если функция (II) не отвечает форме полученной кривой, пробовать подбирать функцию вида (III).

III. Нахождение уравнений вида I. Параметры уравнения

$$Q = A + BH + CH^2 \qquad \text{(I)}$$

иногда определяют по способу наименьших квадратов или по способу Чебышева.

Проще и целесообразнее, однако, применять более простые приемы. Например, поступают так: берут с построенной графически кривой расходов 5 пар значений расходов и уровней и составляют 5 уравнений вида (I); далее, решают эти уравнения совместно, взяв 3 раза 3 комбинации систем из трех разных уравнений; тогда коэфициенты A, B и C находятся как средние арифметические из полученных трех решений.

Уравнение вида

$$Q = A + CH^2 \qquad \text{(I')}$$

применяется редко, в наиболее простых случаях. Параметры этого уравнения могут быть подобраны упрощенным способом по вышесказанному.

IV. Нахождение уравнения вида (II). 1. Нахождение уравнений кривой расходов в виде

$$Q = A(B + H)^m \qquad \text{(II)}$$

основано на следующем:

Если это уравнение прологарифмировать, то получим

$$\lg Q = \lg A + m \lg (B + H). \qquad \text{(186)}$$

Это уравнение должно было бы дать уравнение прямой линии, связывающее величины логарифмов Q и H, если бы было известно соответствующее значение неизвестного параметра B.

В самом деле, уравнение прямой линии для логарифмов Q и H должно иметь такой общий вид:

$$\lg Q = \lg A + m \lg H, \tag{187}$$

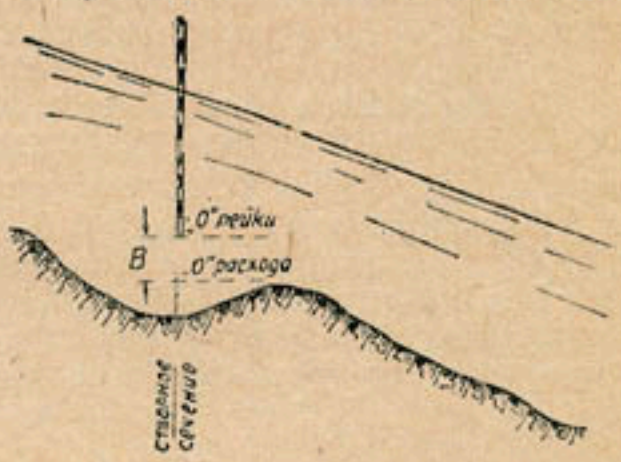
что отвечает уравнению

$$Q = AH^m. \tag{188}$$

Отсюда видно, что значение параметра B, обращающего уравнение (186) в уравнение прямой линии, должно быть таково, чтобы имели место соотношения

$$B + H = 0 \text{ при } Q = 0.$$

Иначе говоря, величина B есть приводка нуля рейки (или нуля наблюдений) водомерного поста к отметке, при которой расход равен нулю (фиг. 230).

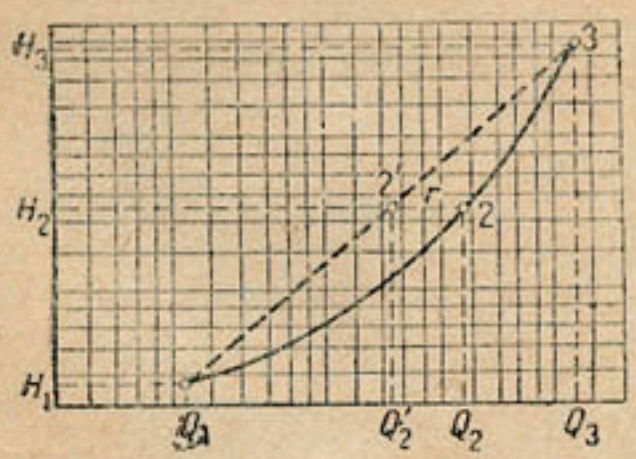


Фиг. 230. Величина B в уравнении $Q = A(B + H)^m$.

Зная величину B, получаем после логарифмирования уравнение типа (187), дающее прямую линию (или иначе логарифмическую анаморфозу) и позволяющее легко определить остальные два неизвестных параметра — A и m.

Таким образом нахождение уравнения вида (11) включает в себя две последовательных отдельных операции: 1) определение параметра B и 2) определение параметров A и m. Параметр B может быть определен по продольному профилю русла около и ниже гидрометрического створа из условия, чтобы при $B = -H$ имело место соотношение $Q = 0$, а также теоретическим путем.

Если ниже гидрометрического створа имеются перекат или порог, отметка дна которых выше отметки дна гидроствора, то параметр B определится из отметки дна этого переката или порога; если же ниже гидроствора на значительном протяжении таких подъемов дна реки не имеется, то B определится из отметки низшей точки дна гидроствора. Наконец, приближенно величину B можно наметить по чертежу кривой расхода, найдя величину H, отвечающую $Q = 0$.



Фиг. 231. Схема к теоретическому вычислению B.

Теоретическим путем B можно найти так. Если задаться каким-либо значением B, то уравнение вида (186) в общем случае даст кривую линию с выпуклостью, обращенной вверх или вниз. Пусть имеем связь между логарифмами Q и $(H + B)$ по фиг. 231. Возьмем наименьший расход Q_1 с уровнем $(B + H_1)$ и наибольший расход Q_3 с уровнем $(B + H_3)$. Проведем хорду между точками 1 и 3. Абсцисса средней точки хорды, очевидно, равна $^1/_2$ $(\lg Q_1 + \lg Q_3)$, а ордината ее равна $^1/_2$ $[\lg(b + H_1) + \lg(b + H_3)]$; этой же ординате отвечает по кривой связи расход, равный Q_2. Для того чтобы кривая линия обратилась в прямую, необходимо и достаточно, чтобы отрезок r на фиг. 231, т. е. разность абсцисс $\lg Q_2$ и $^1/_2(\lg Q_1 + \lg Q_3)$, был бы равен нулю. Отсюда получаем:

$$r = \lg Q_2 - \frac{1}{2}(\lg Q_1 + \lg Q_3) = 0,$$

откуда

$$Q_2 = \sqrt{Q_1 \cdot Q_3}. \tag{189}$$

Найденное равенство дает условие, при котором точки искомой зависимости лягут на логарифмической клетчатке (или в логарифмических шкалах) по одной прямой.

Подставив в уравнение (189) выражение для Q через H, имеем

$$A(B+H_2)^m = \sqrt{A(B+H_1)^m \cdot A(B+H_3)^m}.$$

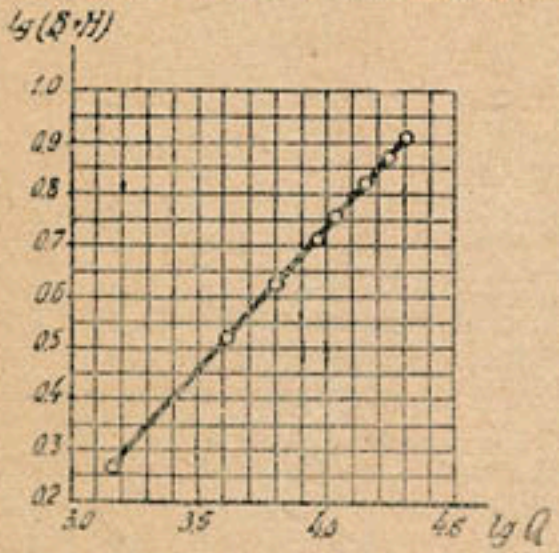
Отсюда получаем

$$B = \frac{H_2^2 - H_1 H_3}{H_1 + H_3 - 2H_2}. \qquad (190)$$

Это и есть искомое значение B, обращающее криволинейную зависимость между Q и $(B+H)$ в прямолинейную или точнее обеспечивающее нахождение на одной прямой по крайней мере трех точек зависимости.

Таким образом путь расчетов в этом случае таков. Берут два расхода Q_1 и Q_3, находящиеся на начале и на конце кривой расхода (или отдельного ее участка); находят по ним Q_2 по формуле (189), $Q_2 = \sqrt{Q_1 \cdot Q_3}$, далее, по значениям H_1 и H_3, отвечающим взятым Q_1 и Q_3, и по значению H_2, отвечающему вычисленному Q_2, и вычисляют искомое значение B, пользуясь формулой (190).

Удобно значение B определять по обоим вышеуказанным способам, имея в виду, что расхождение в этом случае не должно быть существенным. Следует подчеркнуть, что указанный способ нахождения B предусматривает успех дальнейших вычислений только в том случае, когда имеющаяся кривая расходов имеет форму, близкую к правильной параболе m-й степени; в иных случаях изложенный путь к удовлетворительным результатам может не привести.



Фиг. 232. Анаморфоза $Q = f(H)$.

Параметры A и m определяют так. Подставив найденное значение B в уравнение (II), логарифмируют последнее, т. е. находят логарифмическую анаморфозу уравнения (II).

Тогда параметры A и m проще всего можно определить графически из чертежа анаморфозы.

Для этого на обыкновенной или на логарифмической клетчатке по нанесенным на клетчатку значениям $\lg Q$ и $\lg(B+H)$ строят наглаз анаморфозу в виде прямой линии. Далее можно поступать двояко. По способу первому на анаморфозе берут координаты двух каких-либо точек, из которых одна расположена в начале, а вторая у конца анаморфозы; подставляя значения координат этих точек в уравнение (186), получают 2 уравнения, из совместного решения которых определяют A и m. По способу второму значения A и m можно взять прямо из чертежа: A отвечает значению $H = 1 - B$, а m — тангенсу наклона прямой к оси H; этот прием, однако, дает менее точные результаты.

Так как показатель всегда получается дробный, то его можно несколько округлить, в результате чего изменяются A и B. Новые A и B можо получить путем совместного решения двух уравнений (II), если в них при постоянном m подставить две пары соответственных значений Q и H, взятых у начала и у конца кривой расходов.

2. Ниже приводим пример вычислений по данным для Северной Двины у дер. Усть-Пинеги [1].

1. Прежде всего составляем таблицу необходимых в дальнейших расчетах данных — Q и H (см. графы 2 и 3 табл. 25).

Наносим на клетчатку значения H и Q и строим по нанесенным точкам согласную кривую, проводя ее с особой тщательностью вблизи начала и у конца кривой. Берем на кривой горизонта: $H_1 = -0{,}46\ м$ и $H_3 = 5{,}75\ м$ — первый у начала, второй у конца кривой. Соответствующие этим горизонтам расходы равны $Q_1 = 1\,458\ м^3/сек$, $Q_3 = 20\,492\ м^3/сек$. Вычисляем

$$Q_2 = \sqrt{Q_1 Q_3} = \sqrt{20\,492 \cdot 1\,458} = 5\,466 м^3/сек.$$

[1] Взято из книги «Производство портовых технических изысканий», ч. 2, вып. 1, Транспечать, НКПС, Москва, 1930.

Из кривой берем соответствующий расходу Q_2 горизонт $H_2 = 1{,}55$ *м* и вычисляем B:

$$B = \frac{H_2^2 - H_1 H_3}{H_1 + H_3 - 2H_2} = \frac{2{,}40 + 2{,}64}{-0{,}46 + 5{,}75 - 3{,}10} = 2{,}30 \text{ м}.$$

Исследование продольного профиля Северной Двины показывает, что в 18 *км* ниже дер. Усть-Пинеги находится Ильинский перекат, низшая отметка которого ниже нуля Усть-Пинежского водомерного поста на 2,4 *м*. Следовательно, для параметра B получились 2 хорошо согласующиеся значения — одно, вытекающее из формы кривой расходов, а второе — из естественных условий продольного профиля русла реки.

ТАБЛИЦА 25

№ расходов	H	Q	$B+H$	$\lg(B+H)$	$\lg Q$
1	2	3	4	5	6
1	5,75	20 492	8,05	0,90580	4,31158
2	5,15	17 625	7,45	0,87216	4,24613
3	4,33	15 378	6,63	0,82151	4,15770
4	3,40	11 019	5,70	0,75587	4,04214
5	2,85	9 388	5,15	0,71187	3,97257
6	1,90	6 513	4,20	0,62325	3,81378
7	1,03	4 104	3,33	0,52244	3,61321
8	—0,46	1 458	1,84	0,26482	3,16376

Принимаем $B = 2{,}3$ *м*.

Строим, далее, анаморфозу кривой расходов, для чего на клетчатке (фиг. 232) наносим значения $\lg Q$ и $\lg(B+H)$, взятые из таблицы. Берем из проведенной на-глаз анаморфозы две точки — одну в начале анаморфозы с координатами $[\lg Q]_1 = 3{,}2$ и $[\lg(B+H)]_1 = 0{,}27$ и одну в конце ее с координатами $[\lg Q]_2 = 4{,}2$ и $[\lg(B+H)]_2 = 0{,}84$.

Поставив эти значения в уравнение (186), получим два уравнения, решив которые совместно, определяем $\lg A$ и m:

$$\lg A = 2{,}73;\ m = 1{,}75.$$

Тогда искомое уравнение примет вид:

$$Q = 537\,(2{,}3 + H)^{1{,}75}.$$

3. В заключение отметим, что параметры уравнения вида (II) можно найти, не следуя ни одному из указанных способов, а идя простым путем последовательного подбора этих параметров. Проще всего в этом случае задаться каким-либо значением B, более или менее близким к данным условиям. Затем по двум парам значений $(H+B)$ и Q, выбранным на концах кривой (или взятого участка ее), составляют 2 уравнения типа (186), из которых можно определить

$$m = \frac{\lg Q_3 - \lg Q_1}{\lg(B+H_3) - \lg(B+H_1)}, \qquad (191)$$

найдя, таким образом, значение m, по уравнениям типа (186) для Q_1, Q_2 и Q_3 находят значения A_1, A_2 и A_3; из этих последних вычисляют $A_0 = {}^1/_3(A_1 + A_2 + A_3)$; полученные значения B, A_0 и m проверяют для среднего расхода Q_2; если расходимость получается больше 4—5%, то меняют величину B и продолжают подбор по предыдущему до тех пор, пока расходимость для средней точки будет равна допускаемой (1—2%). При некотором опыте вычислителя обычно достаточно трех-четырех попыток.

V. Нахождение уравнений вида (III). Если данная кривая расходов не удовлетворяет уравнению вида (II), следует применять логарифмическое уравнение:

$$\lg Q = \frac{H}{A} + B. \qquad (III)$$

Признаком логарифмического уравнения может служить то, что выражение (190) для значения B в этом случае обращается в бесконечность, так как знаменатель в этой формуле обращается в нуль.

Кривая расходов в спрямленном виде может быть построена тогда так: логарифмический масштаб берут только лишь для оси абсцисс Q, а для оси ординат H — натуральный масштаб.

Параметры уравнения можно тогда определить, пользуясь чертежом. Взяв две точки на прямой, имеем

$$\lg Q_1 = \frac{H_1}{A} + B; \quad \lg Q_2 = \frac{H_2}{A} + B;$$

откуда

$$A = \frac{H_2 - H_1}{\lg Q_2 - \lg Q_1}; \tag{192}$$

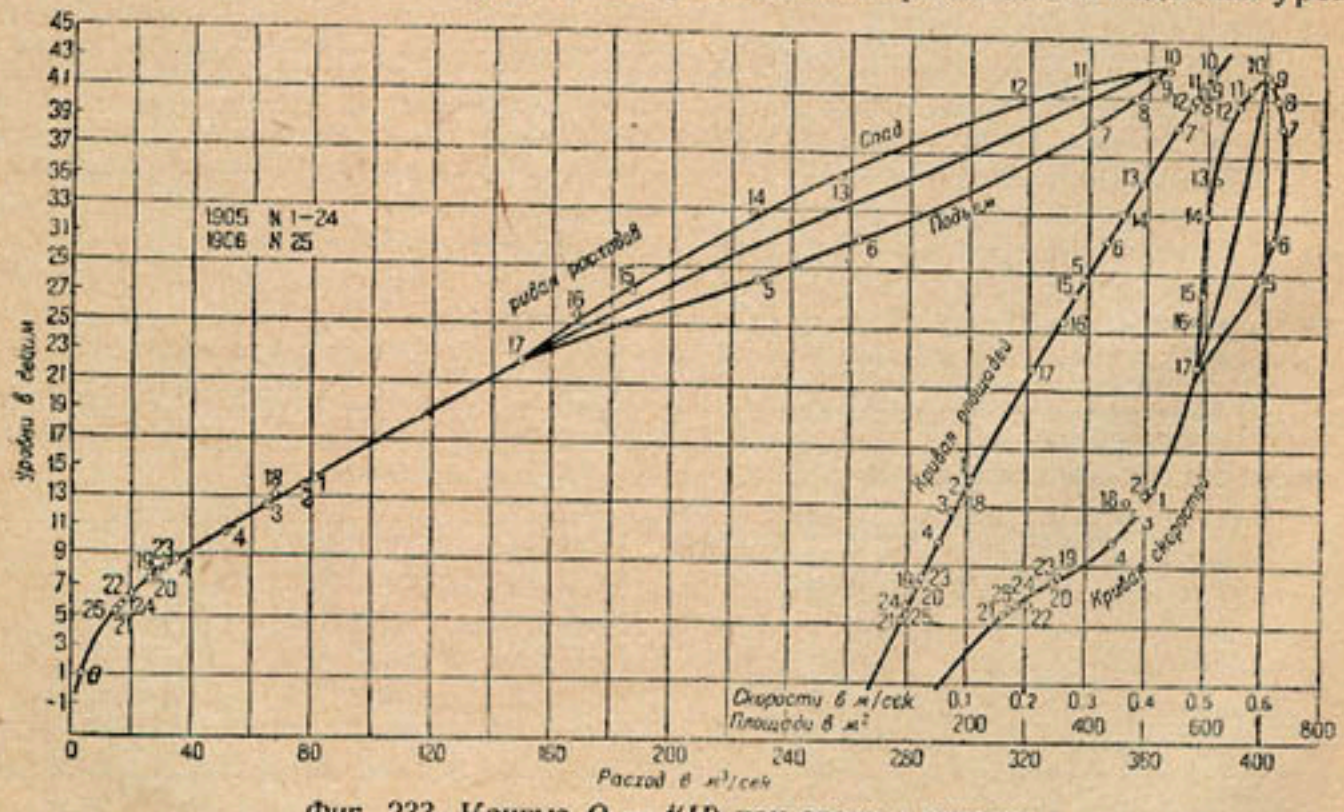
$$B = \frac{H_2 \cdot \lg Q_1 - H_1 \cdot \lg Q_2}{H_1 - H_2}. \tag{193}$$

Заметим, что логарифмическая кривая является границей между двумя классами кривых — с положительным показателем степени, т. е. параболами, и с отрицательным — гиперболами. Первые кривые менее выпуклы, чем логарифмическая кривая, а вторые более выпуклы.

VI. Оценка полученных уравнений. После того как по способам, изложенным в пп. II—V, для кривой расходов найдено одно или несколько уравнений (для отдельных участков кривой расходов), необходимо выполнить поверку найденных уравнений. Эта поверка должна быть выполнена двояко: 1) путем нанесения уравнения (или уравнений) на чертеж расположения точек измерений, 2) путем вычисления отклонений, даваемых уравнениями, как по сравнению с графическим построением кривой расходов, так и с отдельными измерениями. Построение уравнений на чертеже, на котором предварительно нанесены точки измерений, показывает общую сходимость уравнений с данными измерений. Сходимость уравнений с графическим построением кривой расходов оценивают в процентах от значений, даваемых графическим построением; величина расхождений не должна превышать 2—5%. Вычисления сходимости уравнения с отдельными измерениями сводят в отдельную сводную табличку по форме, приведенной выше, в § 119. По данным этой таблички производится общая цифровая оценка соответствия полученных уравнений действительности (§ 119).

§ 122. Случай резких изменений уклонов при подъемах и спадах

На некоторых участках реки могут иметь место условия, в силу которых уклоны и скорости течения будут резко различными при спадах и подъемах уров-



Фиг. 233. Кривые $Q = f(H)$ при спаде и подъеме.

ней, обычно начиная с некоторых высоких уровней. В этом случае точки средних скоростей (§ 117) на чертеже лягут разбросанно и притом так, что скорости при спадах могут быть значительно (до 25—30%) меньше тех, которые отвечают

измерениям при подъемах. В соответствии с этим и точки значений расходов расположатся разбросанно, причем расходы при подъемах будут больше измерений при спадах. Эту картину нетрудно выявить в процессе вышеописанного (§ 117) анализа данных измерений путем выделения особыми условными знаками точек измерений при подъемах и спадах.

В таком случае строят две самостоятельных ветви кривых расходов — одну для спада и другую для подъема, как это показано на фиг. 233; третья — средняя — кривая будет отвечать переходным уровням от подъемов к спадам, т. е. уровням гребня и близким к гребню.

Построение отдельных ветвей и составление расчетной таблицы ведутся так, как было указано в § 118, с той разницей, что в расчетной таблице для уровней (начиная с некоторого горизонта) указывается 3 значения расхода: 1) для подъема, 2) для спада и 3) для гребня и ближайших к гребню уровней, обнаруживающих весьма медленные изменения в своем ходе. Игнорирование подъемов и спадов в таких случаях может внести в вычисления стока ошибки, значительно превосходящие возможную точность этих вычислений.

Отметим, что в разобранном случае можно также применять метод редукции отдельных расходов к принятой за нормальную однозначной кривой расходов; метод этот описан далее, в § 124.

§ 123. Связь расходов с уровнями при переменном русле

1. Общие замечания. При переменном русле, которое подвергается размывам, или на котором отлагаются наносы, одному и тому же уровню могут отвечать совершенно различные расходы с разницей порядка 50, 100, 200% и даже больше. В этом случае на чертеже получается разбросанное поле точек Q и Ω, а иногда и v_c (§ 117), если изменению русла сопутствует также изменение уклонов. При этом необязательно, чтобы изменчивость русла имела место на участке у водомерного поста; изменчивость русла влияет на прохождение расходов также и в тех случаях, когда эта изменчивость имеет место ниже водомерного поста, в непосредственном соседстве с ним.

Понятно, что при раздельном положении водомерного поста и гидрометрического створа изменчивость русла у створа, при неизменном русле у водомерного поста, не вызывает разбросанности на чертеже точек Q, обусловливая в этом случае лишь разбросанность точек Ω и $v_{ср}$. Поэтому, далее, будем иметь в виду изменчивость русла у того расходного водомерного поста, к показаниям которого относят измерения расходов.

Можно различать два главных типа изменчивых русел:

1) изменяющиеся периодически, например после прохода весеннего половодья или паводков, и 2) изменяющиеся непрерывно русла, русла рек, протекающих в иловатых и весьма мелкопесчанистых наносных грунтах. В наших условиях чаще имеет место случай первый; случаю второму отвечают, например, устьевые участки рек предгорий Кавказа.

Особо следует выделить случаи изменчивости русла рек, связанные с возведением искусственных сооружений: мостовых переходов с подъездными дамбами, преграждающими долину, выправительных сооружений и т. п. Эту изменчивость можно назвать изменчивостью временной.

Во всех случаях изменчивого русла однозначная кривая расходов не может дать удовлетворительных результатов для вычислений стока. Поэтому идут такими главными путями для отыскания связи расходов с уровнями:

1) строят серию кривых расходов, отвечающих разным стадиям состояния русла реки в зависимости от степени его изменчивости;

2) строят одну основную или нормальную кривую расходов, отвечающую состоянию русла в некоторый начальный период измерений, в течение коего изменчивость русла существенно не сказывалась на результатах измерений; для учета изменчивости русла в последующие периоды в этом случае применяют или а) поправки Стаута или б) способ Больстера;

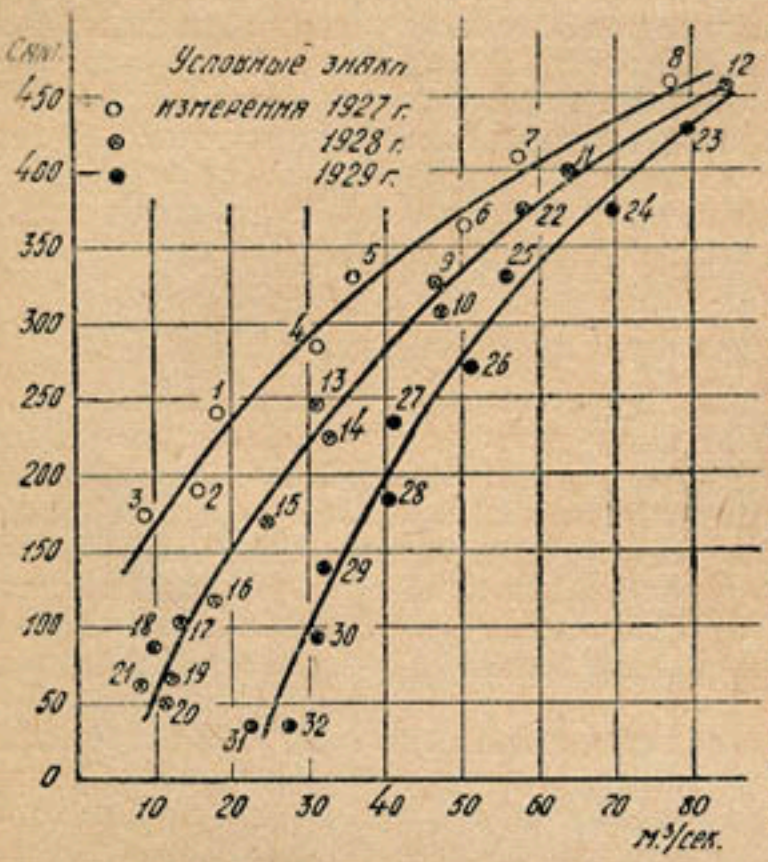
3) строят кривую связи расходов не с уровнями, а со средними глубинами потока;

4) приводят расходы к выбранному «основному» сечению потока;

5) отказываются вовсе от построения кривых расходов, а вычисление последних ведут путем построения особого графика изолиний расходов (т. е. линий равных расходов);

6) как особый прием, пригодный только в некоторых случаях, можно применять предложенный автором настоящей работы способ сравнения со смежными водомерными постами.

Способы первый и второй применяют для случаев временной изменчивости или изменчивости периодической; при этом способ первый применим только при возможности организации достаточно частых измерений расходов. Способы третий, четвертый и пятый предложены для случаев непрерывно и резко меняющихся русел.



Фиг. 234. Семейство кривых при изменчивом русле.

Во всех случаях изменчивости русла (кроме случая возможного применения способа шестого) периодически повторяющиеся в отдельные естественные периоды и сезоны измерения расходов являются обязательными для русел с временной и периодической изменчивостью, а для русел же, непрерывно меняющихся, измерения должны выполняться возможно чаще (один-два раза в неделю), в течение всего времени наблюдений за рекой.

При изложении описания вышеперечисленных приемов будем предполагать, что факт изменчивости русла устанавливается предварительно соответствующим анализом.

II. Построение серии кривых Для построения серии кривых расходов, отвечающих различным стадиям изменчивости русла, необходимо иметь измерения расходов, относящиеся ко всем годам наблюдений и притом к разным сезонам этих годов (т. е. ко всем годам предполагаемых вычислений стока). Точки измерений расходов выделяют на чертеже условными знаками, разными для разных лет и, кроме того, нумеруют в порядке последовательных дат измерений.

Затем анализируют получившуюся картину, устанавливая, какие группы измерений, относящиеся к одному и тому же периоду времени, можно объединить для построения отдельных кривых расходов. Такие группы удобно выделять дополнительными условными обозначениями, например, обводя соответствующие точки измерений цветными кружками. По выделенным группам проводят кривые расходов, обозначая таковые названием тех годов (или периодов), по точкам которых эти кривые построены (фиг. 234).

Расчетные таблицы (§ 119) составляются для каждой кривой расходов отдельно.

III. Способ Стаута. Способ Стаута, как сказано, предусматривает предварительное построение одной нормальной кривой расходов. Основная нормальная кривая строится обычным способом. Если имеется серия измерений, относящихся к разным годам и периодам, то для основной кривой расходов выбираются точки периода, обнимающие наибольшую амплитуду и располагающиеся наиболее правильно (ср. п. II). Вычисления расходов для других лет (или для новых лет наблюдений) выполняют на основе определения так называемых поправок Стаута для отдельных дат измерений расходов. Поправками Стаута ΔH назы-

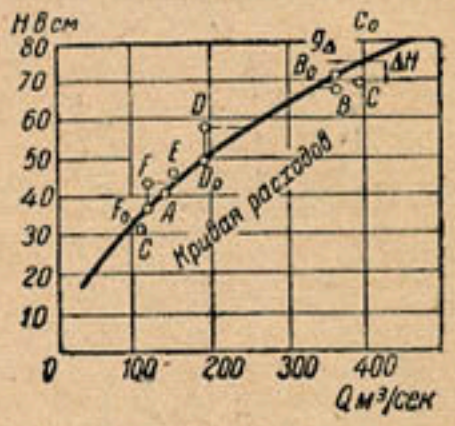
вают те поправки, которые получаются из разницы уровней: 1) уровня, отвечающего величине данного расхода по нормальной кривой расходов, H_0; 2) уровня, наблюденного при измерении данного расхода, не ложащегося на нормальную кривую расходов, H_1, т. е.

$$\Delta H = H_0 - H_1.$$

Таким образом поправка Стаута может быть отрицательной, если измеренный расход ложится выше нормальной кривой, и положительной — в обратном случае. Первый случай соответствует случаям отложений в русле, второй — размывам.

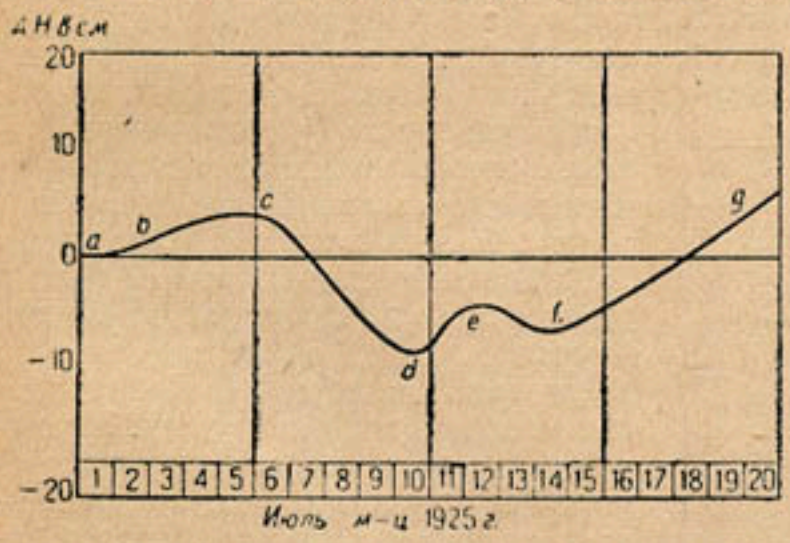
Так, например, на фиг. 235 точки F и D отвечают образованию отложений в русле, а точки B и C—размывам; поправки Стаута будут в этих случаях:

$$\Delta H_1 = F_0 - F = -f;\ \Delta H = D_0 - D = -d;$$
$$\Delta H_3 = B_0 - B = +b;\ \Delta H = C_0 - C = +c, \text{ и т. д.}$$



Фиг. 235. Нахождение поправок Стаута.

Самый способ Стаута заключается в следующем: по имеющимся измерениям расхода, выполненным в течение данного календарного периода, вычисляют поправки Стаута для каждого измерения: $+a$, $+b$, $+c$, $-d$, $-f$, $+g$. По этим поправкам строят график поправок Стаута (фиг. 236), причем берут за ось ординат шкалу для поправок, а на оси абсцисс наносят последовательные даты данного периода (например, июль 1925). Точки, определяющие величину поправок для дат измерений расходов (на фиг. 236 точки a, b, c, d, e, f и g), соединяют плавной кривой, интерполирующей вероятную величину поправок Стаута для дней, находящихся в промежутках между датами измерений расходов.



Фиг. 236. График поправок Стаута.

Вычисления расходов ведут тогда для любого дня периода, обнимаемого построенным графиком, так: к среднесуточному значению наблюденного уровня H_i прибавляют (или отнимают) поправку, даваемую графиком Стаута и получают новый уровень H_0, исправленный на поправку Стаута,

$$H_0 = H_i \pm \Delta H. \qquad (194)$$

По исправленному уровню H_0 расчетный расход берут непосредственно по нормальной кривой расходов (или по расчетной таблице для этой кривой).

Таким образом поправки Стаута исправляют уровни, искажаемые размывами или отложениями, до величин, при которых делается верной построенная предварительно «нормальная» кривая расходов.

Порядок работ при пользовании способом Стаута может быть таким:

1) построив нормальную кривую расходов, вычисляют расчетную таблицу для нее;

2) для всех измерений расхода, не вошедших в построение нормальной кривой, составляют ведомость поправок Стаута по форме таблицы 26.

3) на основании ведомости составляют график поправок Стаута (фиг. 236), причем поправки с плюсом откладывают вверх от нулевой линии, а поправки

с минусом — вниз, и по полученным точкам проводят плавную интерполирующую кривую;

4) пользуясь графиком поправок Стаута (и таблицей), составляют ведомость для вычислений расходов по форме табл. 27.

ТАБЛИЦА 26

Ведомость поправок Стаута за _____ год

Река _____ Водопост № _____ у _____

№ расходов	Даты определения расходов	Измеренные: уровень H_1	Измеренные: расход Q м³/сек	Уровень H_0, отвечающий расходу Q по «нормальной» кривой	Поправка Стаута $\Delta H = H_0 - H_1$
A	1/VI	40	1,40	40	0
B	3/VI	68	3,70	71	+3
C	6/VI	69	4,00	74	+5
D	10/VI	57	1,95	49	−8
E	12/VI	46	1,50	42	−4
F	14/VI	44	1,25	37	−7
G	19/VI	32	1,15	35	+3

ТАБЛИЦА 27

Ведомость для подсчета расходов по способу Стаута

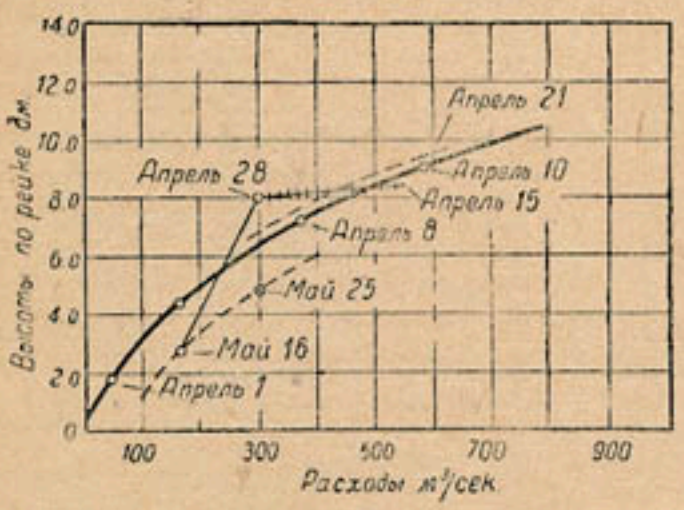
Река _____ Водопост № _____ у _____

Месяц _____

Числа месяца	Уровни по водопосту в см	Поправки Стаута ΔH (с графика)	Исправленные уровни $H_1 \pm \Delta H = H_0$ в см	Расходы, соответ. уровням H_0
1	40	0	40	1,40
2	52	+1	53	2,20
3	68	+3	71	3,70
4	72	+4	76	4,25
5	71	+5	76	4,25

Таким образом способ Стаута дает возможность вести вычисления расходов только для тех лет, по коим имеется ряд измерений расходов; понятно, что, чем больше будет действительных измерений, тем ближе к действительности будут результаты вычислений.

IV. Способ Больстера. Применение способа Больстера предусматривает предварительное построение основной нормальной кривой расходов так же, как и способ Стаута. В основу этого способа положено допущение, что в результате изменений русла реки кривая расходов перемещается постепенно и притом параллельно своему первоначальному положению; это допущение, конечно, отвечает действительности только приближенно. Способ состоит в следующем.



Фиг. 237. Способ Больстера.

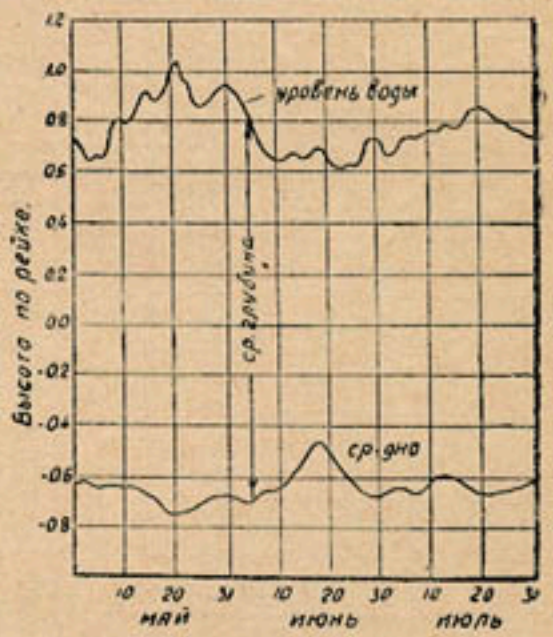
Точки расходов, измеренных в данный период (за который требуется вычислить сток), наносят на чертеж, на котором предварительно построена основная нормальная кривая. У каждой точки надписывают дату измерения. Все нанесенные точки (для данного периода) соединяют последовательно (хронологически), попарно, прямыми линиями.

Каждую из этих прямых линий делят, далее, на такое число частей, которое отвечает числу дн й, заключающемуся между датами обоих измерений, ограничивающих данную прямую. Эти деления обозначают (все или некоторые из них) отвечающими им по интерполяции датами. Тогда для каждого дня берут расход, отвечающий кривой, которая мысленно или на самом деле проведена на чертеже через дату этого дня и притом параллельно основной нормальной кривой.

Схема таких построений показана на фиг. 237; на фигуре основная нормальная кривая построена по измерениям 1, 5, 8 и 10/IV; точка 15/IV легла вправо от кривой, а точка 28/IV — влево; соединив эти точки прямой и разделив эту прямую на 28 — 15 = 13 частей, положение кривой расходов, например, для 21/IV, найдем так, как это показано на фигуре 237 пунктиром.

Способ Больстера, как видно из сказанного, менее удобен, чем способ Стаута, особенно при обработках за длительные периоды.

V. Связь со средними глубинами. Для горных рек с крайне неустойчивым руслом связь между расходами и средними глубинами может давать лучший результат, чем обычный способ построения расходов. Средние глубины в этом случае могут быть получены так. По данным измерений вычисляют отметку среднего дна как разности между отметкой горизонта воды и средними глубинами при взятых горизонтах. Принимая за ось абсцисс время (календарь), откладывают полученные точки отметок среднего дна H_0 и соединяют их плавной кривой, интерполируя, таким образом, эти отметки для дней, по коим измерений не производилось (фиг. 238). Затем на том же графике наносят ход колебаний уровней H на створном водомерном посту в той же системе отметок. Тогда средние глубины h для каждого дня могут быть найдены как разности отметок уровней воды и отметок среднего дна, т. е. $h = H - H_0$.



Фиг. 238. Схема вычисления средних глубин.

Способ этот неудобен при резких изменениях поперечного сечения русла, так как в этом случае получаются резкие скачки средней глубины, не зависящие от деформаций русла. Улучшения, достигаемые заменой горизонтов воды средними глубинами, довольно значительны: вместо расхождений порядка свыше 100% получаются отклонения лишь порядка около 25%. Описанный способ предложен в 1915 г. С. Н. Троицким.

VI. Приведение расходов к условному основному сечению. Способ приведения расходов к условному основному сечению имеет в своей основе предположение, что изменчивость русла не сопровождается существенными изменениями уклонов и средних скоростей.

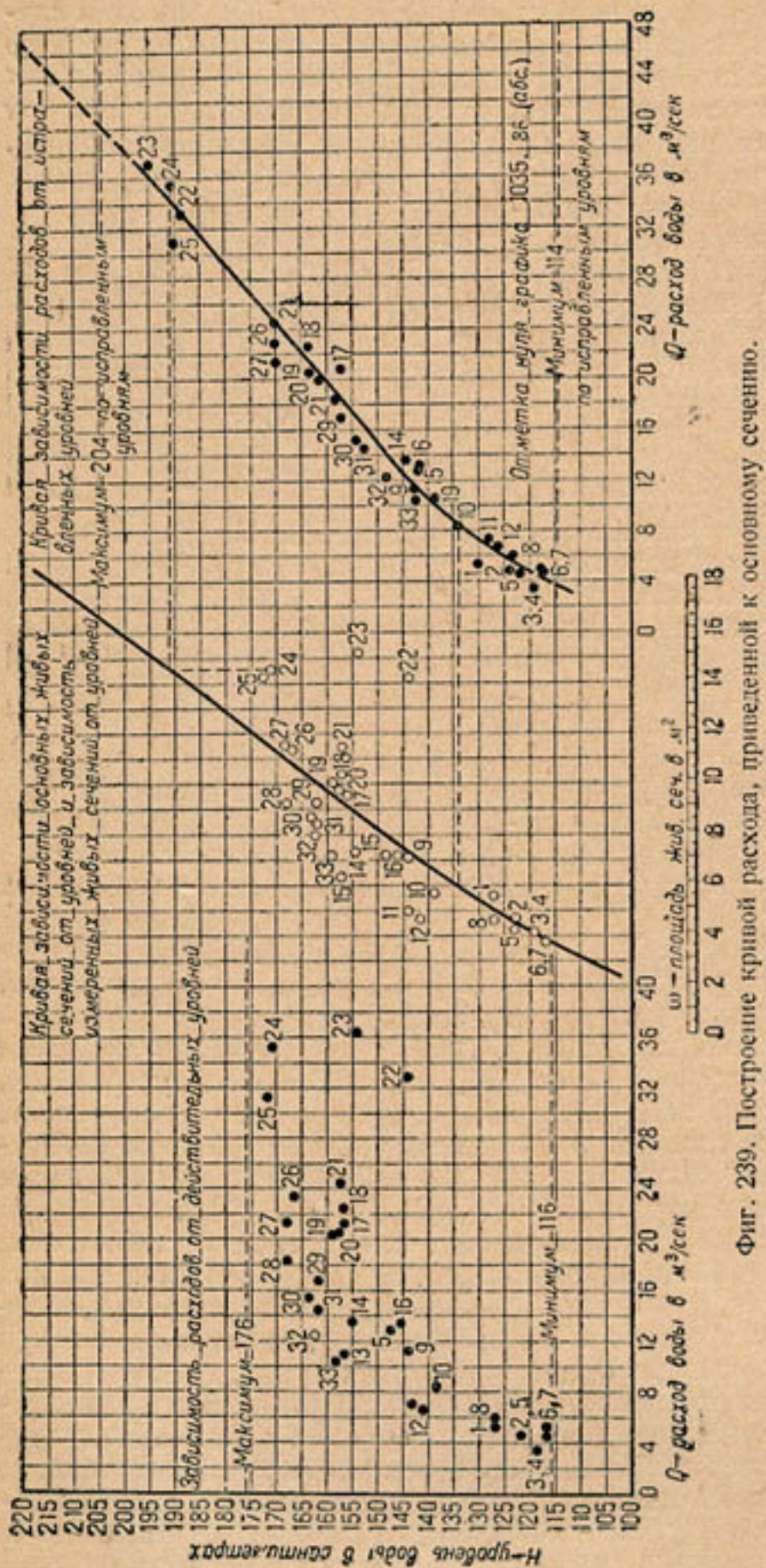
Способ состоит в следующем:

Одно из промеренных живых сечений в створе принимается за основное, и для него строится по точкам кривая $\Omega = f(H)$. На этот чертеж, далее, наносятся точки Ω и H для всех измеренных расходов. Проводя через любую точку Ω_i вертикаль до пересечения с кривой $\Omega = f(H)$, находим высоту уровня H_0^i, при которой площадь основного сечения равна площади при измерении расхода. Уровень H_0^i, таким образом, есть исправленный уровень на принятую зависимость $\Omega = f(H)$. Эти исправленные уровни и приписываем соответствующим измеренным расходам и по ним строим обычную кривую $Q = f(H_0^i)$.

Пример такого построения приведен на фиг. 239. Слева наложены точки по измеренным расходам и наблюденным уровням. В средней части проведена кривая $\Omega = f(H)$ для сечения, принятого за основное, и показаны точки, отвечающие измеренным площадям живых сечений; как видно, эти последние точки легли, так же как и точки измеренных Q, на левой части чертежа, весьма разбросанно. В правой части чертежа точки измеренных расходов отнесены к исправленным уровням, и по ним проведена средняя кривая $Q = f(H)$; как видно, улучшения в связи Q с H получились весьма значительные. Чтобы найти расходы в те дни, по которым не выполнялось измерений, следует по поправкам к наблюденным уровням для дат измерений расходов построить график изменчивости этих поправок по времени (аналогично графику Стаута). Из него могут быть найдены поправки к наблюденным уровням на каждый день, а по исправленным уровням — расходы по кривой.

VII. Способ изолиний. Способ изолиний требует для своего применения весьма значительного количества измерений и целесообразен при весьма значительной и беспорядочной изменчивости русла. По этому способу расходы, изме-

ренные за определенный период (например, за год), наносят на клетчатой бумаге, взяв за ось ординат уровни по рейке водомерного поста, а за ось абсцисс календарь периода; у каждой нанесенной точки надписывают в виде отметки отвечающее ей значение расхода. Базируясь на отметках измеренных расходов (как на нивелировочных отметках на мензульном планшете), на чертеже проводят линии равных расходов для периода обработки.



Фиг. 239. Построение кривой расхода, приведенной к основному сечению.

Если бы русло реки было неизменно, эти линии одинаковых расходов получились бы параллельными оси абсцисс; таким образом отклонения изолиний расходов от такого (параллельного) положения показывают меру изменчивости русла, причем подъемы их отвечают отложениям наносов, а спады — размывам (фиг. 240).

Затем на том же чертеже, в том же самом масштабе для оси ординат, наносят график хода уровней за период.

Тогда расходы каждого дня легко определить или по соответствующей изолинии расходов, пересекающей уровень данного дня, или по интерполяции между соседними изолиниями.

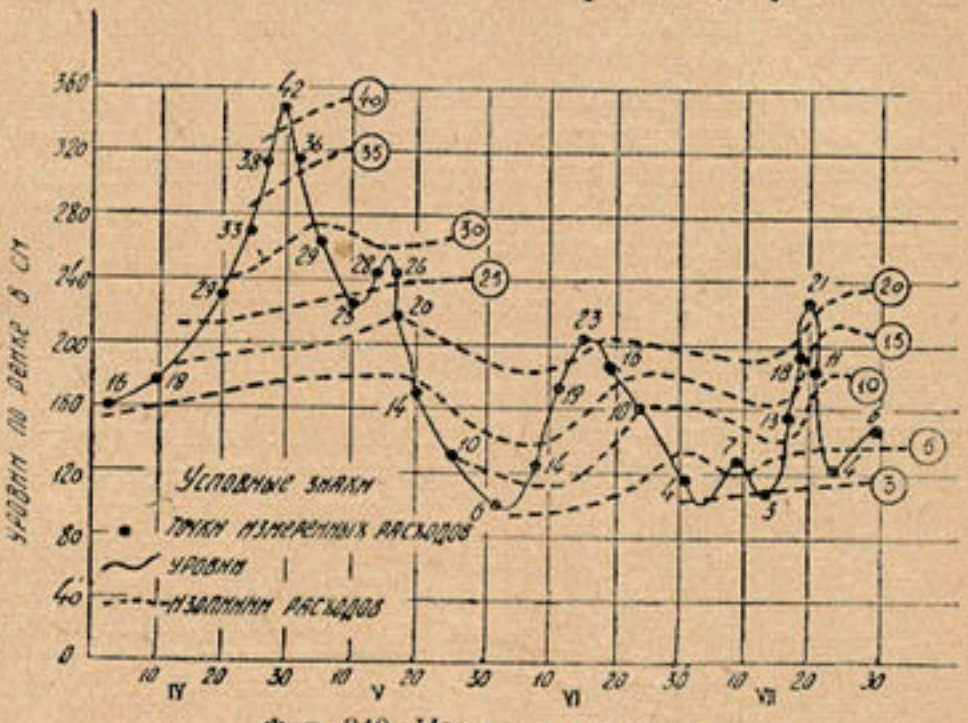
Фиг. 240 дает примерную схему такого построения; здесь точки измеренных расходов обозначены кружками, а изолинии расходов — жирными пунктирными линиями.

VIII. Способ сравнения со смежными водомерными постами. Ни один из вышеперечисленных способов учета изменчивости русла не может быть применен, если нет более или менее частых измерений расходов за период предполагаемых вычислений стока.

Таким образом отсутствие систематических измерений расходов у пункта, около которого русло реки изменчиво, исключает возможность сколько-нибудь точно вычислить сток реки (при наличии водомерных наблюдений) у этого пункта.

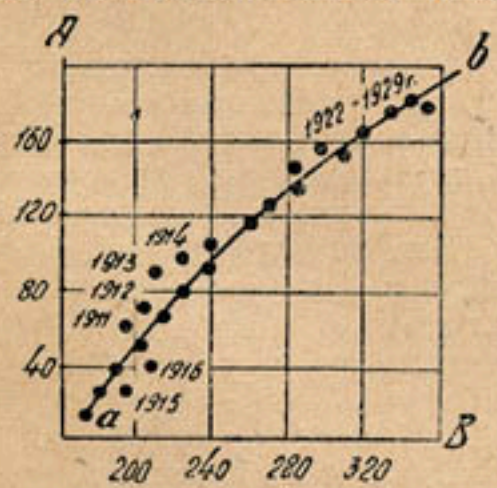
Могут иметь место, однако, такие частные условия, когда в указанном случае вычисление стока все же может быть значительно уточнено и при отсутствии непрерывных измерений расходов. Такими частными условиями являются: 1) наличие на данной же реке другого водомерного поста, но расположенного на участке с заведомо неизменяющимся руслом (например, на порожистом участке); 2) отсутствие между обоими постами значительных притоков, существенно искажающих режим реки у одного из водомерных постов; 3) сравнительно малая изменчивость русла на протяжении коротких периодов

Тогда расчеты могут итти следующим путем: по точкам измеренных расходов строят основную кривую расходов для кого-либо периода наблюдений, для которого намечается согласное расположение всей группы измерений.



Фиг. 240. Изолинии расходов.

Далее, между показаниями обоих водомерных постов отыскивается связь соответственных уровней (§ 51): точки отдельных лет (или периодов) последовательно нумеруются и выделяются разными условными знаками. В случае неизменного русла у обоих водомерных постов кривая связи соответственных уровней определилась бы как кривая, проведенная по всем нанесенным точкам, обычно располагающимся весьма кучно; при



Фиг. 241. Учет изменчивости русла по кривой связи соответственных уровней.

русле, изменчивом у одного из пунктов, точки соответственных уровней лягут разбросанно, причем эта разбросанность будет являться (при взятых условиях) результатом размывов или отложений в русле одного из пунктов. Выделив на чертеже точки соответственных уровней, отвечающие периоду (или нескольким годам), в течение коего производились измерения расходов (по которым построена кривая расходов), строят по этим точкам кривую связи соответственных уровней для взятого периода; тогда изменчивость русла в иные периоды, по коим нет измерений расходов, может быть приближенно оценена величиной отхода точек соответственных уровней для этих периодов от построенной кривой связи.

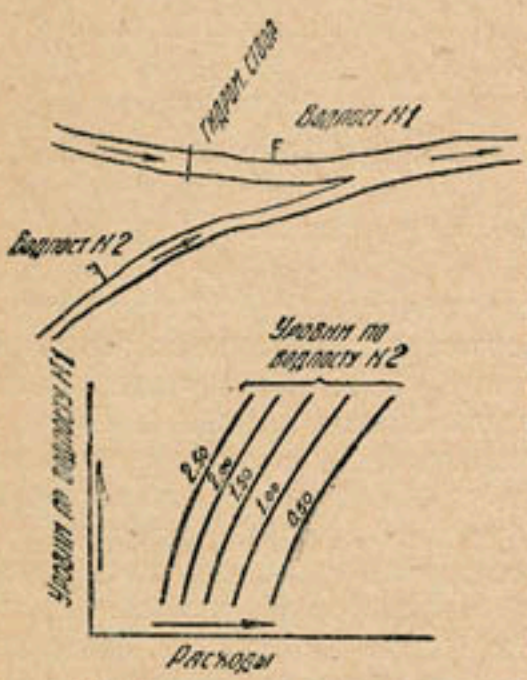
Так, если (фиг. 241) в пункте *B* русло неизменяемое, а в пункте *A* изменяемое, то, построив по точкам 1922—1929 гг. кривую связи соответственных уровней *ab*, видим, что в 1911, 1912, 1913 и 1914 гг. уровням в пункте *B* отвечали более высокие уровни в пункте *A*, чем в 1922—1929 гг.; это показывает, что в 1911—1914 гг. в пункте *A* русло было выше, чем в 1922—1929 гг.; для 1915—1916 гг. имеем обратную картину; разницы уровней 1911—1914 гг. и тех, что отвечают кривой связи, дают характеристики имевшего место более высокого положения русла. Найдя такие разницы (ΔH) для отдельных годов (или периодов), можем ввести их в расчет. Это можно сделать двояко: 1) или исправить на полученные величины ΔH уровни соответствующих периодов аналогично тому, как это де-

лается с поправками Стаута (п. III), 2) или по полученным значениям ΔH передвигать построенную кривую расхода соответственно вверх при повышениях русла, или вниз — при понижениях русла, т. е. для ряда лет с изменениями русла построить по ΔH ряд новых кривых расходов. В последнем случае для уточнения расчетов можно предварительно, по данным действительных измерений, построить функции $\Delta H = f(H)$ и руководствоваться установленным таким образом соотношением для построения кривых $Q = f(H)$ и для лет, по коим измерения расходов отсутствуют.

Идея такого способа была применена автором для учета изменчивости русла Днепра у Киева; данные по расходам имелись лишь за период 1913—1924 гг., а сток следовало вычислить за период 1877—1929 гг., между тем как русло Днепра у Киева обнаружило за период 1877—1929 гг. достаточно значительную, хотя и не резко меняющуюся, изменчивость.

§ 124. Связь расходов с уровнями при переменном подпоре

I. Общие замечания. Переменный подпор (§ 117) вызывает обычно значительную разбросанность точек измерений. В этом случае должна быть построена многозначная связь уровней с расходами. В качестве третьего показателя (кроме уровней и расходов) должна быть введена в расчет одна из таких характеристик: 1) уклоны на участке; 2) падения; 3) уровни у второго водопоста (кроме основного), характеризующие колебания подпора.



Фиг. 242. Зависимость между расходами и уровнями при переменном подпоре.

Отсюда видно, что для построения зависимости между уровнями и расходами, а также для вычисления стока в случае переменного подпора, необходимо иметь на реке дополнительный наблюдательный пункт — водомерный пост; по этому дополнительному водомерному посту должны производиться наблюдения непрерывно, параллельно с основным водомерным постом (§ 30).

Способы учета переменного подпора можно разбить на такие группы:

1) способ построения семейства кривых;
2) способ поправок к нормальной кривой.

II. Способ построения семейства кривых. Можно различать 2 главных случая переменного подпора: 1) переменный подпор, вызываемый влиянием притока, впадающего в данную реку ниже расположенного на ней основного водомерного поста; 2) переменный подпор от работы расположенного ниже основного водомерного поста искусственного сооружения (водоподъемная плотина).

В первом случае построение кривых расхода весьма удобно вести так. У каждой точки расхода, нанесенной на чертеж так, как обычно, надписывают показание рейки дополнительного водомерного поста; выделяя в одни группы точки измеренных расходов, отвечающие одним и тем же показаниям дополнительного водомерного поста, и нанося недостающие точки по интерполяции между имеющимися измерениями, строят семейство кривых расходов, в котором каждая частная кривая расходов отвечает одному и тому же показанию дополнительного водомерного поста. Схема такого построения показана на фиг. 242; там же, вверху, показано расположение основного (пост № 1) и дополнительного водомерных постов.

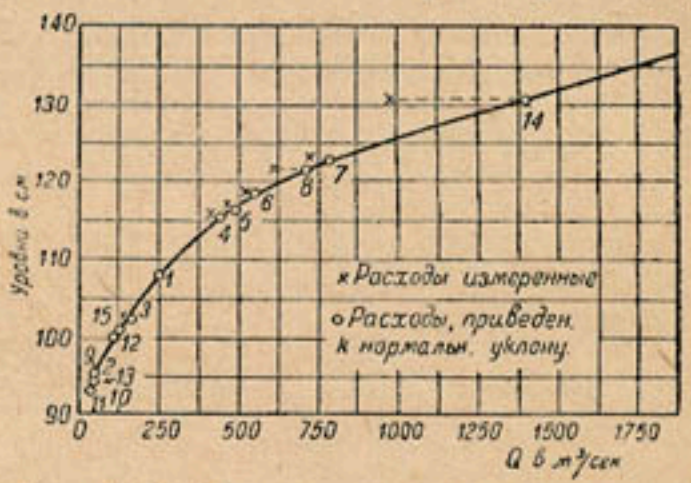
Такой способ применим также и для иного случая переменного подпора, от расположенного ниже водоподъемного сооружения; этот способ практикуется и рекомендуется германскими гидрологическими учреждениями.

Совершенно так же вышеописанное построение можно вести, если вводить в расчет в качестве показателя для каждого измеренного расхода величины паде-

ния между основным и дополнительным водомерными постами — Δh или, наконец, уклоны $i = \frac{\Delta h}{L}$, где L — расстояние между основным и дополнительным водомерными постами. При сравнительно небольшом количестве измеренных расходов, когда непосредственное построение всего семейства кривых расходов, охватывающего всю возможную амплитуду, затруднительно, можно поступать так:

По данным выполненных измерений расходов и отвечающим им значениям уклонов I вычисляют значение C формулы Шези: $v = C\sqrt{RI}$ для соответствующих значений уровней.

Приняв эти вычисленные значения C за приближенно правильные для иных возможных случаев подпора, т. е. для иных значений I, можно вычислить значения расходов, отвечающие этим последним значениям теоретически. Вычисленные теоретически значения расходов (при разных уровнях) наносят на чертеж и по этим точкам проводят недостающие ветви семейства кривых расходов. Вместо значений I в окончательное построение удобнее вводить (для удобства последующих вычислений) значения падений Δh.



Фиг. 243. Приведение расходов к условному нормальному уклону.

По аналогии с далее изложенными способами учета влияния водной растительности и наличия льда можно было бы предложить в данном случае вместо семейства кривых ограничиваться построением одной какой-либо основной кривой, отвечающей выбранному уровню H_2 на водомерном посту № 2, а для иных возможных уровней по водомерному посту № 2 строить кривые $K = f(H_2)$, где $K = \frac{Q_2}{Q_0}$, т. е. отношение расходов: Q_2 — отвечающего иным уровням, чем расчетные H_0 по водомерному посту № 2; Q_0 — отвечающие расчетной кривой расходов. Тогда вычисление расходов для любых уровней водомерного поста № 2 можно производить по основной кривой расходов, но результаты следует помножать на соответствующую величину K, определяемую по вышеуказанной зависимости.

III. Способ поправок к нормальной кривой. Способ этот заключается в предварительном построении условной «нормальной» кривой расходов, отвечающей принятому постоянному падению, и в вычислении действительных расходов по этой кривой с введением поправок на соотношение действительного падения к принятому за нормальное. Способ предложен американским гидрологом *Холлем*.

Из выражения $Q = \Omega C\sqrt{RI}$, для двух расходов Q_1 и Q_2, отвечающих различным уклонам I_1 и I_2, или, что то же, различным падениям Δh_1 и Δh_2, можно получить такое соотношение (если принять приближенно $C_1 = C_2$; $\Omega_1 = \Omega_2$; $R_1 = R_2$):

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \sqrt{\frac{I_1}{I_2}} = \sqrt{\frac{\Delta h_1}{\Delta h_2}}. \qquad (195)$$

Имея ряд измеренных расходов, вычисляют для них отвечающие им (по основному и дополнительному водомерным постам) значения Δh_i. По значениям Δh_i находят из них среднее арифметическое Δh_0:

$$\Delta h_0 = \frac{\sum \Delta h_i}{n},$$

где n — число измерений; значение Δh_0 принимают за нормальное.

Далее, для каждого расхода находят соотношения:

$$Z = \frac{\Delta h_i}{\Delta h_0} \quad \text{и} \quad \sqrt{Z} = \sqrt{\frac{\Delta h_i}{\Delta h_0}}.$$

Тогда условно принимаемые за нормальные расходы Q_0 найдутся по выражению (195) так:

$$Q_0 = Q_i \sqrt{\frac{\Delta h_0}{\Delta h_i}} = Q_i \cdot \frac{1}{\sqrt{Z}}. \qquad (196)$$

Эти расходы наносятся на чертеж (в обычных осях координат), и по ним строится кривая расходов, отвечающая нормальному Δh_0.

Пример вычисления нормальных расходов Q_0 дан в следующей табл. 28 [1]: соответствующее построение кривой расходов показано на фиг. 243.

Имея нормальную кривую расходов, вычисление любых расходов по ней ведут так:

По данному уровню берут с кривой расходов расход Q_0; зная отвечающее уровню H значение падение Δh_1, действительный расход $Q_д$ вычисляют по формуле:

$$Q_д = Q_0 \sqrt{\frac{\Delta h_i}{\Delta h}} = Q_0 \sqrt{Z}. \qquad (197)$$

ТАБЛИЦА 28

№ измерений	Дата измерений	Площадь живого сечения Ω в $м^2$	$v_{ср}$ в $м/сек$	Уровни в $м$: по основному водомерному посту H_1	Уровни в $м$: по дополнительному водомерному посту H_2	Падение Δh_i	$\frac{\Delta h_i}{\Delta h_0} = Z$	$\sqrt{Z}$	Приведенный расход Q_0 в $м^3/сек$	Действительный расход $Q_д$ в $м^3/сек$
	1908 г.									
1	17/VI	0,49	0,59	32,87	38,10	5,23	1,012	1,006	0,286	0,289
2	5/XII	0,12	0,44	28,93	35,14	6,21	1,200	1,095	0,050	0,054
3	9/XII	0,31	0,56	31,20	36,12	4,92	0,953	0,976	0,182	0,173
	1909 г.									
4	27/II	0,73	0,67	35,24	39,96	4,72	0,912	0,955	0,507	0,489
5	4/III	0,77	0,70	35,52	40,48	4,96	0,953	0,976	0,552	0,539

Примечание. h_0 равно 5,182 $м$.

Например (для случая той же реки, что и выше), 12/IV были измерены уровни: на основном посту $H_1 = 42{,}24$ $м$, на дополнительном $H_2 = 39{,}62$ $м$; тогда имеем

$$\Delta h_1 = 42{,}24 - 39{,}62 = 2{,}62 \text{ } м; \quad \Delta h_0 \approx 5{,}18 \text{ } м;$$

$$\frac{\Delta h_i}{\Delta h_0} = \frac{2{,}62}{5{,}18} = 0{,}505 = Z; \quad \sqrt{Z} = \sqrt{0{,}505} \approx 0{,}71;$$

$$Q_д = Q_0 \sqrt{\frac{\Delta h_i}{\Delta h_0}} = 1{,}53 \cdot 0{,}71 = 1{,}09 \text{ } м^3/сек.$$

Порядок вычислений понятен из примерной табл. 29:

IV. При устойчивом русле и при наличии не резко выраженных подпорных явлений весьма часто однозначную кривую расходов можно получить путем построения кривой $\frac{Q}{\sqrt{I}} = f(H)$, где I — уклон воды.

§ 125. Кривые расхода для заболоченных рек

I. Общие замечания. Связь между расходами и уровнями для заболоченных рек с богато развитой водной растительностью может быть установлена только приближенно. Первая причина этому — искажение соотношений расходов с уров-

[1] Заимствовано из книги W. A. Liddel, Stream Gaging, New-York, 1927 с переводом в метрические меры.

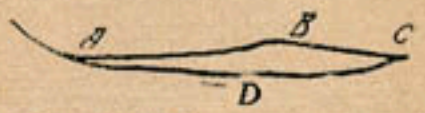
ниями не только в силу изменений уклонов, но и в силу изменений площадей живых сечений и шероховатости русла при разных фазах вегетации водной растительности; второй причиной можно считать обычную малую точность измерений расходов на заболоченных реках (в связи с медленным течением и наличием травы в реке).

ТАБЛИЦА 29

Дни	Уровни по рейке в *м*		Падение	$\sqrt{Z}$	Нормальный расход по кривой Q_0 в *м³/сек*	Действительный расход Q_∂ в *м³/сек*
	основной пост	дополнительный пост				
1	42,25	39,59	2,66	0,716	1,52	1,09
2	42,28	39,68	2,60	0,707	1,55	1,10
3	42,31	39,72	2,59	0,707	1,56	1,10
4	42,34	39,78	2,56	0,703	1,58	1,11
5	42,37	39,81	2,56	0,703	1,59	1,12
6	42,37	39,84	2,53	0,699	1,60	1,12
7	42,37	39,84	2,53	0,699	1,60	1,12

Теоретическую схему влияния водной растительности на прохождение расходов можно изобразить так:

Весной, обычно после спада весенней воды, почти отмершая за зиму водная растительность начинает развиваться и около середины лета достигает максимума своего развития; далее, с переходом к осени, количество водной растительности постепенно начинает уменьшаться, и она почти совсем исчезает с наступлением предзимних холодов. Так же меняется и подпор в реке, создаваемый водной растительностью, как это показано схематически на фиг. 244; здесь линия *ABC* — те уровни, которые летом имеют место на самом деле в реке с развитой водной растительностью, а нижняя линия *ADC* — уровни, которые должны были бы иметь место, если бы исключить подпор, создаваемый водной растительностью.



Фиг. 244. Подпор от водной растительности.

II. Способы учета влияния водной растительности. До недавнего времени учет стока заболоченных рек большей частью осуществлялся только грубо приближенно следующими способами:

1) предварительно выполнялось выправление (срезка) искаженных летних уровней по соображению с ходом уровней на ближайшем водомерном посту, уровни у которого не искажаются влиянием водной растительности. Измеренные расходы для летнего периода при этом для построения кривой расходов относились к выправленным уровням;

2) по другому способу строилась грубо приближенная средняя кривая для всего поля разбросанных точек летних измерений, каковая и принималась за расчетную.

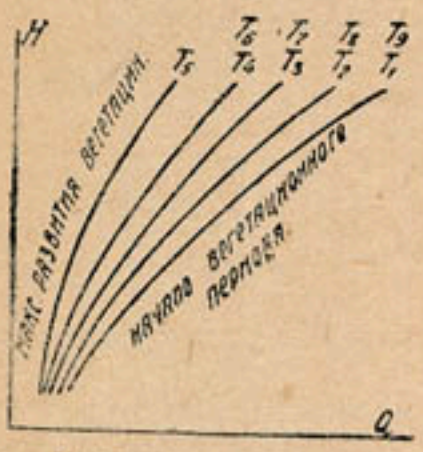
Оба эти способа при исчислении расходов могут обусловливать ошибки в сотни процентов.

Автором настоящей книги в 1929 г. предложены разработанные им способы построения кривых расходов для рек с водной растительностью, практически в достаточной мере точные. Способы эти на ряде заболоченных рек УССР дали вполне приемлемые результаты.

1. Способ первый — построения семейства кривых — удобен только лишь при наличии большого количества измерений расходов, относящихся к нескольким летним периодам. Этот способ основан на следующем:

Поскольку разным фазам вегетации водной растительности отвечают разные величины подпора, то все случаи измеренных расходов на реке с развитой водной растительностью теоретически должны укладываться в некоторое семейство кривых (фиг. 245). Первая (нижняя) кривая (фиг. 245) должна отвечать началу

вегетационного периода; последняя (крайняя левая на чертеже) должна отвечать максимуму развития вегетации в реке, т. е. наибольшему искажению уровней. В промежутках между первой и последней кривыми расходов должны лежать кривые, отвечающие определенным датам от начала вегетации, например, T_2, T_3, T_4 (т. е., например, 20, 40, 60 и т. д. суток) от начала вегетационного периода. Эти же самые промежуточные кривые расходов должны отвечать также и определенным датам, считая от момента наступления максимума вегетации до момента почти полного исчезновения водной растительности в реке; например, T_6, T_7, T_8 и т. д. (т. е., например, 30, 50, 70 и т. д. суток от даты максимума вегетации). Конечно, эти границы отдельных естественных периодов вегетации можно наметить только приближенно, но в целом особенности влияния отдельных фаз вегетации на режим реки указанным путем выявляются достаточно отчетливо. Понятно, что указанные границы не должны, вообще говоря, совпадать с твердыми календарными делениями для каждого летнего сезона; повидимому, следует исходить из естественного начала вегетационного периода в реке — конца спада весенней воды или, так как конец спада не всегда можно установить достаточно отчетливо, за начало счета времени можно принимать дату прохода весеннего гребня.



Фиг. 245. Связь расходов с уровнями при наличии водной растительности.

Порядок построений по вышеописанной схеме таков: точки измеренных расходов наносят на чертеж (в обычной координатной системе), надписывая у каждой точки дату измерения и номера дней T, считая (приближенно) от конца весеннего спада или от даты прохода весеннего гребня. Далее, выделяют особыми условными знаками (например, цветными кружками) точки, отвечающие приблизительно одинаковым значениям T_i; по полученным группам проводят последовательно отдельные кривые расходов, которые и обозначают отвечающими им значениями T_i.

При вычислениях расходов по такому семейству кривых для каждого уровня (или группы уровней для последовательно взятых дней ввиду приближенности расчетов) следует предварительно выписывать соответствующие значения T_i.

2. Второй способ удобнее и универсальнее первого и состоит в следующем. Вместо построения семейства кривых расходов строят одну исходную кривую расходов, а именно, по возможности, отвечающую началу (или концу) вегетационного периода (фиг. 245); эта кривая, повидимому, должна быть огибающей по отношению ко всем точкам измерений, в том числе и зимним, если таковые имеются. Имея исходную кривую, можно далее по остальным имеющимся измерениям установить закономерности от влияния водной растительности путем построения кривых, оценивающих это воздействие. Такими кривыми могут служить кривые $\Delta H = f(T)$ и $K = f(T)$ (§ 127), где ΔH — разницы между уровнями $H_{изм}$, отвечающими измеренным расходам, и теми уровнями H_0, которые отвечают измеренным расходам по построенной исходной кривой расходов, т. е. $\Delta H = H_{изм} - H_0$; K — отношение измеренного (при влиянии растительности) расхода $Q_{изм}$ к расходу Q_0 по построенной исходной кривой при уровне, отвечающем $Q_{изм}$, т. е.

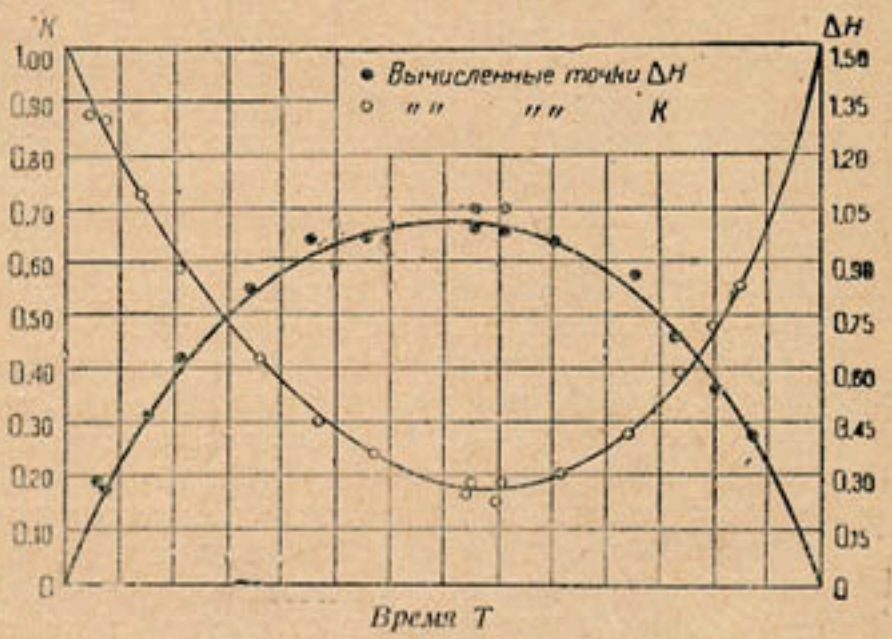
$$K = \frac{Q_{изм}}{Q_0}.$$

За шкалу ординат при построении $\Delta H = f(T)$ и $K = f(T)$ берется или шкала ΔH в *см*, или шкала K в долях единицы; за шкалу абцисс можно брать или календарь, или значения T от условного начала развития вегетации.

Вычисленные точки ΔH или K на выполняемых построениях должны обнаружить закономерное расположение; легко видеть, что значения ΔH будут иметь наименьшие величины в начале и конце развития вегетации, а наибольшее значение — в период максимума вегетации; значения K будут изменяться наоборот:

максимуму развития вегетации будут отвечать наименьшие значения K (порядка 0,15—0,20), а в начале и конце вегетационного периода значения K будут приближаться к своему верхнему теоретическому пределу — единице. По нанесенным точкам K или ΔH строится далее плавная кривая (фиг. 246). Подобного рода построения, выполненные для ряда заболоченных рек (в Научно-исследовательском институте Водного хозяйства) дали вполне отчетливую картину в ходе значений ΔH или K как для календарного сопоставления этих характеристик, так и при отсчетах времени от даты прохода гребня.

Имея кривую $\Delta H = f(T)$, расходы вычисляют так: для каждого дня (или для уровней, взятых через несколько дней, для упрощения подсчетов) по имеющейся кривой $\Delta H = f(T)$ вычисляют поправки ΔH; далее эти поправки отнимают от наблюденных уровней, т. е. находят $H_0 = H_{изм} - \Delta H$; по найденным исправленным уровням H_0 расходы далее вычисляют по построенной исходной кривой расходов. Удобна форма записей, аналогичная форме 30а, приведенной далее в § 131. При пользовании кривой $K = f(T)$ вычисляют сначала расходы по наблюденным уровням, пользуясь исходной кривой расходов; от вычисленных расходов Q_0 переходят к отвечающим действительности $Q_{изм}$ путем помножения величин Q_0 на значения поправочных коэфициентов K, каковые определяются для каждого дня (или для дат, взятых через определенные промежутки — для упрощения расчетов) по построенной зависимости $K = f(T)$; т. е. расходы, имевшие место при влиянии водной растительности, находятся по соотношению $Q_{изм} = K \cdot Q_0$.



Фиг. 246. Кривые $K = f(T)$ и $\Delta H = f(T)$.

Форма ведомости для вычислений может быть аналогична форме 30, данной в § 129.

Следует отметить, что положение выбранной исходной кривой расходов сказывается только лишь на абсолютных величинах характеристик ΔH и K, но конечных результатов вычислений нисколько не меняет. Пользование кривой $K = f(T)$ более удобно, чем кривой $\Delta H = f(T)$.

Повидимому, кроме продолжительности вегетации на ход последней (а значит, и на ход уровней) оказывают влияние также температуры воды (и воздуха). Влияние это по выполненным автором проработкам оказывается большей частью недостаточно резко выраженным и в таких случаях им можно пренебрегать.

Введение в расчет температур (воздуха или воды) возможно осуществить на графиках $K = f(T)$ или $\Delta H = f(T)$ в виде построения на них дополнительных ветвей, отвечающих разным градациям температур. Необходимо отметить, что при измерениях расходов на участках с водной растительностью можно ожидать некоторого преувеличения расходов из-за неучета площади, занимаемой водной растительностью.

ГЛАВА XXII

СВЯЗЬ МЕЖДУ УРОВНЯМИ И РАСХОДАМИ ПРИ НАЛИЧИИ ЛЬДА

§ 126. Общие условия прохождения расходов при наличии льда

Вопрос об установлении зависимости между расходами и уровнями при наличии льда в реке является весьма сложным. Точки измеренных зимних расходов ложатся почти всегда на чертеже значительно левее летних измерений и притом более или менее разбросанно, точки $v_{ср}$ и Ω также не обнаруживают обычно никакой закономерности в своем расположении. Поэтому одну кривую расходов для зимних расходов обычно построить весьма затруднительно.

Как известно, после перехода температур воздуха через нуль в сторону отрицательных, на реках начинается образование льда; лед образуется в двух видах: 1) подводный — донный, образующийся у дна и берегов реки, и пловучий, находящийся в воде во взвешенном состоянии (шуга), и 2) поверхностный. Образование подводного льда на данном участке прекращается после того, как река покроется сплошным ледяным покровом; но при наличии полыней или незамерзающих мест на быстринах формирование подводного льда в таких местах продолжается. Количество подводного льда в реке в каком-либо ее сечении может быть в несколько раз больше, чем льда поверхностного. На разных реках или на разных участках одной и той же реки формирование льда — поверхностного и подводного — может итти совершенно различно.

Отметим, что расходы в зимний период обычно изменяются по сравнению с предшествующими осенними под влиянием таких причин: 1) изменения (или полного прекращения — в суровые зимы) поверхностного стока; 2) в связи с некоторым изменением количества поступающей в реку грунтовой воды; 3) в связи с расходованием некоторого количества воды на образование льда. Эта последняя величина в начале зимы, в течение нескольких дней, может достигать вполне реальных и больших величин, уменьшая общую величину расходов до 50—75%; после установления сплошного ледяного покрова потери на ледообразование обычно значительно уменьшаются.

Появляющийся в реке лед изменяет режим ее уровней так, что тот расход $Q_{зим}$, который проходил бы через живое сечение при отсутствии льда при некотором уровне $H_{лет}$, проходит через живое сечение при наличии льда при уровне $H_{зим}$, причем, как правило, $H_{зим} > H_{лет}$. При этом наличие льда в реке обусловливает следующие явления: 1) уменьшение площади живого сечения; 2) изменение общей шероховатости русла; 3) изменение уклонов, по сравнению с условиями прохода расходов при тех же уровнях летом, при отсутствии льда. Уменьшение площади живого сечения относительно тем больше, чем меньше река или чем больше образуется в реке льда, преимущественно донного и пловучего. Изменение общей шероховатости русла обусловливается появлением новой поверхности трения — поверхностного льда, перекрывающего реку; это влечет за собой увеличение сопротивлений движению воды по сравнению с условиями ее прохода летом. Изменение уклонов воды связано с изменением площадей живого сечения и шероховатостей и с подпорными явлениями от образующихся масс льда.

Таким образом в каждый данный момент зимнего периода наблюдаемая высота уровня в реке складывается из двух величин: 1) значения уровня, который отвечал бы проходящему расходу, если бы не было в реке льда H_g, 2) значения подпора, искажающего этот последний уровень за счет наличия льда ΔH, т. е.

$$H_{зим} = H_g + \Delta H. \qquad (198)$$

В начале зимнего периода величина ΔH растет постепенно от нуля в момент, предшествующий непосредственно ледоходу, до $\Delta H_{макс}$ в первые дни ледостава или в последующие его дни. Значения H_g в то же время падают более или менее резко на некоторые величины ΔH_g в самом начале зимнего периода как от резкого уменьшения поверхностного стока при наступлении отрицательных температур, так, главным образом, в связи с потерями на ледообразование. Для рек с разными условиями ледообразования и питания может иметь место разный одновременный ход значений H_g и ΔH_g.

К концу зимы обычно (но не всегда) имеет место некоторое падение зимних уровней (подо льдом); падение это имеет место, главным образом, за счет уменьшения ледовых сопротивлений в русле, т. е. за счет уменьшения ΔH, вследствие рассасывания и уноса прочь подводного и донного льда, а также сглаживания нижней поверхности поверхностного льда, и может, таким образом, не сопровождаться уменьшением расходов. В иных случаях можно констатировать возрастание расходов, не сопровождаемое возрастанием уровней, также за счет уменьшения количества льда (например, весной и при оттепелях); таким образом ход зимних уровней в общем случае отнюдь не отвечает ходу зимних расходов.

Особо следует выделить случаи временных чрезвычайных искажений режима реки льдом: заторы и зажоры (§ 40).

Объективным признаком заторов и зажоров можно считать наличие резко выраженных и следующих непосредственно друг за другом подъема и спада — в случае низового затора (зажора) по отношению к данному месту, или обратного хода явления — спада и подъема — для верхового затора (зажора).

§ 127. Характеристики влияния льда на ход уровней

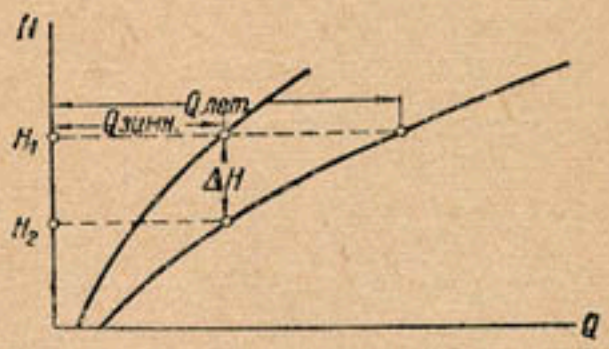
Учесть в отдельности влияние на проход воды подо льдом всех различных факторов, появляющихся с возникновением льда, не представляется возможным как вследствие сложности этих влияний, так и в связи с недостаточной изученностью их. Суммарная роль этих факторов, однако, может быть выражена весьма просто, если в основу их учета положить сравнение расходов при наличии льда с расходами при открытом русле (или, говоря сокращенно, сравнение зимних расходов с летними).

Если с зимним расходом $Q_{зим}$ сравнивать летний $Q_{лет}$, протекающий при том же уровне H_3 (измеренном в лунке), но взятый по кривой расходов для открытого русла (фиг. 247), то можно получить такое соотношение:

$$\frac{Q_{зим}}{Q_{лет}} = K, \qquad (199)$$

отсюда

$$Q_{зим} = KQ_{лет}, \qquad (200)$$



Фиг. 247. Схема для K и ΔH.

т. е. любой зимний расход можно было бы получить по наблюденному зимнему уровню, пользуясь кривой летних расходов, если бы знать характеристику K.

Значения K колеблются обычно (для наших рек) в пределах от 0,15 до 1,00[1]; последняя цифра является предельным значением K, ибо при $K = 1$ зимний расход ложится на летнюю кривую расходов. Таким образом, чем меньше значение K, тем больше искажается режим реки явлениями льда.

Если с зимним расходом $Q_{зим}$ (фиг. 247) сравнивать расход, взятый по летней кривой, но равный ему по величине, т. е. брать $Q_{лет} = Q_{зим}$ (т. е., если сравнение вести, следуя линии, проведенной параллельно оси ординат, а не параллельно оси абсцисс, как в предыдущем случае), то можно написать

$$H_{зим} - H_{лет} = \Delta H \qquad (201)$$

$$H_{лет} = H_{зим} - \Delta H, \qquad (202)$$

т. е. любой зимний расход можно было бы получить по наблюденному зимнему уровню, пользуясь летней кривой расходов, если бы знать характери-

[1] Следует иметь в виду, что как здесь, так и в иных местах нашего изложения, подразумеваются зимние уровни, измеряемые обычным способом, т. е. в лунке; если же зимние уровни воды относить к нижней поверхности льда, то значения K могут быть значительно больше единицы. Уровни, относимые к нижней поверхности льда, не учитывают величины напора, под которым протекает вода подо льдом, и потому не могут быть признаны правильно отображающими явление.

стику ΔH; отняв эту величину ΔH из $H_{зим}$ и получив, таким образом, уровень $H_{лет}$, искомое значение зимнего расхода можно взять прямо по летней кривой расходов, по полученному уровню $H_{лет}$.

Значения ΔH колеблются от 0 до величин порядка целых метров; при предельном значении ΔH равном нулю, зимний расход ложится на летнюю кривую расходов. Величина ΔH выражает собой, таким образом, величину подпора, производимого в реке наличием льда.

Теоретически значения K и ΔH можно выразить следующим образом:

Обозначим среднюю ширину реки через B, толщину поверхностного льда в сечении через $e_п$, толщину подводного (донного и плывучего) льда через e_x, причем $e_п + e_x = E$; далее примем, что заменяющая гидравлический радиус средняя глубина $T_{зим}$ в зимний период при наличии льда выразится так:

$$T_{зим} = \frac{T - E}{2},$$

где T — средняя глубина, соответствующая летнему расходу при зимнем горизонте $H_{зим}$.

Далее, примем для C в формуле Шези формулу Маннинга:

$$C = \frac{1}{n} T^{\frac{1}{6}}.$$

Тогда при некотором уровне $h_{зим}$ выражения для летнего и зимнего расходов напишутся так:

$$Q_{лет} = B \cdot T \cdot C_{лет} \sqrt{T I_{лет}}; \tag{203}$$

$$Q_{зим} = B \cdot (T - E) C_{зим} \sqrt{\frac{T - E}{2} I_{зим}}. \tag{204}$$

Отсюда отношение $\frac{Q_{зим}}{Q_{лет}} = K$ определяется так (после выноса за скобку численных коэфициентов):

$$K = 0{,}63 \left(1 - \frac{E}{T}\right)^{1{,}667} \frac{n_{лет}}{n_{зим}} \left(\frac{I_{зим}}{I_{лет}}\right)^{0{,}5}, \tag{205}$$

где $n_{зим}$ и $n_{лет}$ — коэфициенты шероховатости по шкале Гангилье-Куттера (входящие в формулу Маннинга).

В этом выражении $E = e_п + e_x$ не может быть определено теоретически для старых лет и для тех новых, в течение коих не производилось детальных измерений наличия подводного и поверхностного льда; соотношение $\frac{n_{лет}}{n_{зим}}$ теоретически также не поддается вычислениям, ибо законы изменений $n_{зим}$ неизвестны; известно лишь, что пределы колебания $n_{зим}$ весьма велики; наконец, соотношение $\left(\frac{I_{зим}}{I_{лет}}\right)^{0{,}5}$, повидимому, может колебаться в разных пределах для разных участков рек, ибо в некоторых случаях зимние расходы проходят при повышенных против лета скоростях, а в иных — при более значительных площадях; в ряде случаев можно уподобить течение реки подо льдом прохождению воды в трубе под напором.

Таким образом теоретическое выражение (205) не может быть практически использовано для вычисления зимнего стока.

Если принять условно, что $\frac{n_{лет}}{n_{зим}}$ и $\left(\frac{I_{зим}}{I_{лет}}\right)^{0{,}5}$ остаются для некоторых условий постоянными, то тогда можно обнаружить следующие изменения K в зависимости из изменений $\frac{E}{T}$:

1. С увеличением E следует ожидать уменьшения коэфициента K.

2. С увеличением средней глубины сечения (т. е. уровней) K увеличивается, причем для малых глубин (при одной и той же толщине льда) это увеличение K идет более или менее быстро, а для больших значений глубин — медленно; при некоторых больших глубинах значения K от последних почти не зависят.

3. Малые изменения толщины льда E при больших глубинах практически на значение K влияния почти не оказывают. С другой стороны, приняв $\frac{n_{зим}}{n_{лет}} = 1$ и $\left(\frac{I_{зим}}{I_{лет}}\right)^{0,5} = 1$, получим, что даже при E, близком к нулю, величина K должна быть близка к $\sim 0{,}63$, т. е. гораздо меньше единицы.

Характеристики ΔH непосредственно связаны с характеристиками K. Пусть связь уровней с расходами выражается уравнением $Q_{лет} = A \cdot (B + H)^n$. Тогда для ΔH можно вывести такое соотношение:

$$\Delta H = (B + H_{зим})(1 - \sqrt[n]{K}). \qquad (206)$$

Характеристиками K и ΔH широко пользуются наряду с другими приемами для вычисления зимних расходов на основе построенной кривой расходов для открытой реки; задача в этом случае сводится к отысканию подходящих для данного случая значений K или ΔH и установлению возможного хода их изменений.

§ 128. Различные случаи вычисления зимних расходов

Из изложенного выше видно, что вычисление зимних расходов для тех зимних периодов, в течение коих измерений расходов не производилось, является в достаточной мере сложной задачей. Опыт показывает, что разбросанность точек зимних измерений на координатном поле $Q_{зим} = f(H)$ в ряде случаев может достигать величин порядка 40—50%, и даже больше [считая от осредненного соотношения $Q_{зим} = f(H)$].

Следует, однако, иметь в виду, что при наличии такого рода отклонений для отдельных дней возможные ошибки исчисления зимнего стока в осредненном выводе для целых сезонов обычно должны значительно уменьшаться, даже при пользовании осредненной кривой $Q_{зим} = f(H)$, поскольку для сезонов всегда характерно наличие отклонений различных знаков.

Необходимо также отметить, что на годовых величинах стока те или иные ошибки в исчислениях зимних расходов сказываются еще меньше, чем для отдельных зимних сезонов.

В самом деле, возможную ошибку годового стока в зависимости от ошибок исчислений стока за зимний сезон можно выразить в таком виде:

$$\delta = \pm \frac{\mu \cdot A_{зим}}{A_{год}}, \qquad (207)$$

где μ — ошибка исчисления стока за зимний сезон, выраженная в %; $A_{зим}$ и $A_{год}$ — соответственно сезонный зимний и годовой сток в *мм*.

Величину отношения $\frac{A_{зим}}{A_{год}}$ в соответствии с обычными характеристиками наших равнинных рек можно оценить примерно в 0,10—0,20; если взять границы возможных колебаний величины μ примерно в 10—50%, то для величины δ получим вероятные границы ее колебаний в пределах 1—7,5%, а в среднем, очевидно, величину δ можно оценить как близкую к 2—4%.

Совершенно очевидно, что вероятная ошибка от неточностей исчисления зимних расходов должна быть еще меньше для среднемноголетних годовых величин стока, причем в ряде случаев она может даже целиком компенсироваться за счет различных знаков ошибок для различных отдельных лет.

Все вышеприведенное дает основание охарактеризовать практическое значение вопроса о точности вычисления зимнего стока следующим образом:

1. Возможные неточности в исчислении зимнего стока могут играть существенную практическую роль в расчетных построениях, основывающихся на ха-

рактеристиках стока, взятых за отдельные короткие интервалы, как, например, отдельные дни, пятидневки, декады, месяцы; таковы, например, случаи расчетов для гидрологических прогнозов, расчетов при проектировании водохранилищ в целях использования гидроэнергии или водоснабжения, расчеты по исчислению мощности гидростанций.

2. Возможные неточности в исчислении зимнего стока довольно существенно могут отражаться на величинах сезонных характеристик стока.

3. Возможные неточности в исчислении зимнего стока отражаются практически несущественно на годовых величинах стока как для отдельных лет, так и в среднемноголетних выводах.

4. Понятно, что вопрос об уточнении вычислений зимнего стока имеет особо важное значение с точки зрения научных исследований; с зимним периодом связан непосредственно вопрос об углубленном изучении процесса подземного питания рек; зимний период характеризует аккумулирующую способность бассейна и динамику водоотдачи как из водоносных слоев бассейна, так и из грунтов речных пойм.

Таким образом, если иметь в виду отмеченную сложность рассматриваемого вопроса, можно признать возможным для различных целей допускать различную точность исчислений зимних расходов в зависимости от допускаемой для данной цели вероятной погрешности конечных результатов.

Совершенно очевидно, что достижимая точность исчислений зимних расходов почти целиком должна определяться не только теми или иными приемами исчислений, но и качеством и количеством исходных материалов — измеренных зимних расходов.

В этом последнем отношении кардинальную роль играет не только количество зимних сезонов, охваченных измерениями, но и соответствующее распределение зимних измерений расходов на протяжении отдельных зимних сезонов.

Для уверенного построения зависимости зимних расходов от действующих на них факторов в общем случае необходимо, чтобы измерения зимних расходов охватывали не менее 4—5 зимних сезонов различного характера (зимы суровые, средние и теплые); на протяжении отдельных зимних сезонов измерения расходов должны распределяться более или менее равномерно, причем желательны более частые измерения в начале периода ледостава и в его конце.

Если обратиться теперь к существующим способам построения зависимостей для исчисления зимних расходов, то можно выделить такие две главные группы приемов: 1) приемы, пригодные для интерполяционных вычислений зимних расходов в промежутках между датами их фактических измерений в отдельные зимние сезоны; 2) приемы, имеющие в виду экстраполяционные построения.

К чисто интерполяционным приемам можно отнести: 1) способ Хойта, 2) способ интерполяций по вычисленным на основании действительных измерений величинам ΔH, 3) способ интерполяций по вычисленным значениям K.

К приемам, имеющим в виду возможность экстраполяционных вычислений, т. е. вычислений для зимних периодов, по коим никаких зимних измерений расходов не производилось, можно отнести:

1) гидрометеорологические подходы, предложенные автором настоящей книги;

2) способ построения кривой зимних расходов; прием этот может иметь ограниченное применение;

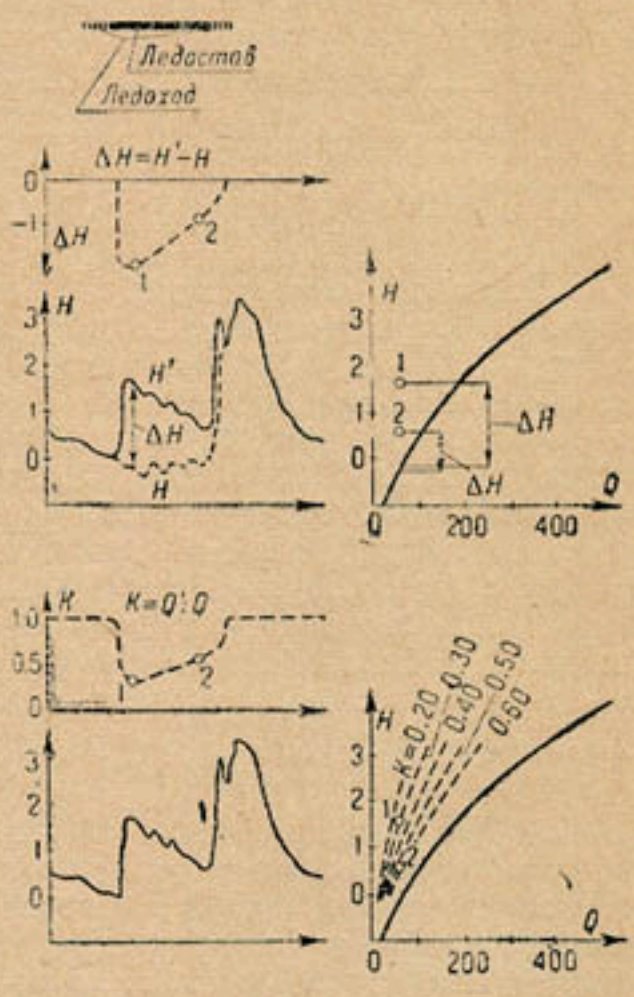
3) приемы, которые можно назвать гидравлическими.

Таковы приемы, в основу коих положены те или иные теоретические обоснования и соображения, имеющие в виду учесть с той или иной степенью приближения все сложное многообразие действующих факторов. В качестве третьей группы возможных приемов можно выделить группу упрощенных подходов, более или менее широко применяемых практическими работниками, взамен специальных приемов, указанных выше, особенно в тех (к сожалению, нередких в нашей практике) случаях, когда хоть какие-либо измерения зимних расходов отсутствуют.

§ 129. Способы для интерполяционных вычислений зимних расходов

I. Способ Хойта. Сущность приближенного интерполяционного способа, предложенного американским гидрологом Хойтом (Hoyt, 1913 г.), состоит в следующем:

На одном и том же чертеже, где на оси абсцисс нанесен календарь данного зимнего периода, изображают следующие величины: 1) график ежедневного хода уровней; 2) среднесуточные температуры воздуха; 3) суточные величины жидких осадков, если они имели место; 4) точки величин ΔH, т. е. подпора от льда (§ 127), определенных по выполненным в течение данной зимы измерениям расхода. Дальше, сообразуясь с ходом температур и осадков, исходя из действительных «опорных» значений ΔH, проводят непрерывную интерполирующую кривую хода ΔH для всего периода; при этом исходят из таких общих соображений: 1) повышение температур, даже при условии, если они остаются ниже нуля, влечет за собой обычно увеличение расходов, т. е. уменьшение величин ΔH; 2) такое же влияние оказывают выпадающие жидкие осадки. Построив кривую ΔH, вычитают определяемые ею значения ΔH, для каждого дня, из наблюденных зимних уровней, в результате чего получают уровни, исправленные («срезанные») на ΔH; по этим уровням вычисления расходов ведут по летней кривой расходов.



Фиг. 248. Способы интерполяции по ΔH и по K.

Таким образом способ Хойта может быть применен с успехом только при наличии достаточно частых измерений зимних расходов в течение того периода, за который нужно вычислить сток.

II. Интерполяция по ΔH. В связи с неопределенностью сущности способа Хойта обычно применяют для интерполяционных вычислений зимних расходов поправку ΔH без всякого принятия во внимание хода температур и осадков; для успеха этого приема нужно только иметь достаточно значительное количество зимних измерений.

Порядок построений и вычислений остается тот же за исключением того, что ход температур и осадков не учитывается.

Этот способ у нас впервые был применен инж. С. И. Моисеенко (1914 г.).

III. Интерполяция по K. Проф. С. И. Коллупайло (1928 г.) взамен характеристик ΔH предложил пользоваться характеристиками K (§ 127). Так как значения K меняются более плавно, чем значения ΔH, и притом пределы изменений K не могут выходить из значений от 0,10 до 1,00 (в наших условиях), в то время как значения ΔH определенных пределов не имеют, то такая замена в ряде случаев является вполне целесообразной. Такими случаями можно считать: 1) случаи больших рек со значительными глубинами, где на значения K небольшие обычно изменения зимних уровней существенного влияния не оказывают (§ 127 — см. выводы о влиянии на K разных факторов); 2) случаи средних по величине рек, со спокойным режимом, при наличии достаточного числа измерений зимних расходов в течение расчетного периода.

Сущность способа остается та же, что и при применении способа Хойта; вместо расчетной диаграммы хода значений ΔH в этом случае по точкам вычислен-

ных значений K для измеренных расходов строится интерполяционная кривая хода значений K; эта кривая проводится как плавно сопрягающая точки K, полученные по измерениям, не считаясь при этом с ходом температур и осадков, данные о которых на график не наносятся (фиг. 248, там же вверху показано построение для хода ΔH).

Имея значения K для каждого дня, вычисления расходов ведут по летней кривой расходов; удобно пользоваться следующей формой:

ТАБЛИЦА 30

Дата (месяц и число)	Зимний уровень $H_{зим}$	Значение K (из чертежа) на данный день	$Q_{лет}$ по уровню $H_{зим}$ по летней кривой	$Q_{зим} = K \cdot Q_{лет}$	Примечания (срезки заторов и зажоров и др.)
1	2	3	4	5	6

Недостаток пользования характеристикой K вместо ΔH можно видеть в том, что отсутствует наглядность в сравнительном ходе действительных зимних уровней и зимних уровней, приведенных к равным им по расходам летним, как это имеет место при пользовании ΔH.

Поэтому в иных случаях, кроме отмеченных в начале этого параграфа, предпочтительно пользование характеристиками ΔH. Поверка приблизительной правильности срезки зимних уровней на величины ΔH в этом случае легко может быть выполнена из сопоставления хода полученных исправленных зимних уровней с предшествующими летне-осенними уровнями (зимний сток, т. е. исправленные зимние уровни, обычно должны быть ниже летне-осенних — меженних), а иногда путем сопоставлений с ходом уровней на ближайших водомерных постах этой же реки или даже соседних, имеющих аналогичные условия питания.

§ 130. Гидрометеорологический способ автора

I. Обоснования и сущность метода. В приведенном выше (§ 126 и 127) анализе особенностей зимнего режима рек было сказано, что наиболее простыми суммарными характеристиками искажений зимнего режима, производимых ледовыми явлениями, служат характеристики ΔH и K. Значения K являются характеристиками относительными, т. е. оценивающими явления искажения зимнего режима в долях от величин характеристик для режима неискаженного; значения ΔH есть характеристики абсолютные.

Поэтому для общей оценки суммарных искажений зимнего режима безотносительно к специфическим свойствам пропускной способности профиля удобнее пользоваться характеристиками K.

Таким образом в общем случае $Q_{зим} = KQ_{лет}$.

В приведенном общем выражении коэфициент K зависит от всех тех многочисленных факторов, которые определяют те или иные особенности в ходе изменений зимнего режима рек. Этих факторов мы уже касались выше (§ 127).

Сгруппируем теперь все главнейшие, действующие на ход зимнего режима, факторы в такие 3 характерные группы:

I. Метеорологические факторы — температура воздуха, инсоляция, снеговой покров, давление воздуха и др.

II. Гидравлические условия участка — характеристики продольного и поперечных сечений участка и его морфологии.

III. Гидрологические условия участка — питание его грунтовыми водами, термический режим грунтовых вод и т. п.

В каждой из выделенных групп мы объединили факторы с одинаковым общим характером и с общими для каждой группы признаками генетического порядка.

Если бы удалось учесть влияние каждой из выделенных групп факторов на ход зимнего режима реки, то задача о построении зависимости зимних расходов от влияющих на них факторов была бы решена.

При такой постановке вопроса вышеприведенная общая зависимость $Q = KQ_{лет}$ может быть подробнее написана так:

$$Q = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot Q_{лет}, \tag{208}$$

где α, β и γ — коэфициенты, учитывающие доли искажения зимнего режима реки действием факторов каждой из трех вышеприведенных главных их групп.

Таким образом в этом случае имеем

$$K = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma, \tag{209}$$

и наша задача сводится к выявлению реального значения последнего соотношения в зависимости от главных, действующих на зимний режим, факторов.

Рассмотрим эти факторы несколько подробнее.

I. Группа первая — факторы метеорологические. Изменения различных метеорологических характеристик для каждого климатического района в общем имеют некоторый определенный характер; каждому району свойственны как определенные пределы колебаний климатических элементов, так и некоторый обычный их средний ход.

Из ряда различных метеорологических элементов для наших целей, естественно, выделить основной элемент — температуру воздуха.

Длительные положительные температуры должны уменьшать ледовые сопротивления в русле как вследствие таяния поверхностного льда, так и в результате интенсивного растворения подводного льда прибывающей водой от поверхностного стока. Точно так же низкие отрицательные температуры могут увеличивать сопротивления в русле от льда вследствие возрастания толщины поверхностного льда, а при наличии полыней — также вследствие интенсивного образования подводного льда.

Общий характер влияния температур на зимний режим установлен был еще Хойтом.

Чем более длительны периоды с положительными или отрицательными температурами воздуха, тем более должно сказываться их влияние на зимний режим реки; отсюда легко притти к выводу о целесообразности введения в расчет н а к о п л е н и й температур воздуха за те или иные периоды или иначе положить

$$\alpha = f(\Sigma t), \tag{210}$$

где α — один из коэфициентов, учитывающих влияние зимнего режима на условия прохождения расходов воды в реке (см. уравнение 209).

II. С общими гидравлическими условиями участков в зимнем режиме реки связаны (при одних и тех же температурных условиях):

а) условия и характер замерзания реки;

б) условия и характер образования подводного льда;

в) характер изменения после замерзания как шероховатости нижней поверхности поверхностного льда, так и образовавшихся запасов подводного льда.

В самом деле, на реках с более быстрым течением ледяной покров образуется позже, и процесс замерзания протекает в более неспокойных формах, чем на реках того же климатического района, но с более медленным течением; подводный лед образуется в более значительных объемах в первом случае, чем во втором.

Далее, образовавшийся от более или менее беспорядочного смерзания плывущих льдин поверхностный лед на реках с неспокойным течением должен иметь, повидимому, более шероховатую поверхность, чем на реках спокойных; при наличии значительных скоростей течения процесс сглаживания нижней поверхности льда, а также рассасывания подводного льда должен итти более или менее быстро в силу более значительной живой силы массы воды.

III. Гидрологический режим потока в смысле размеров питания его грунтовыми водами, а также в отношении термического режима грунтовых вод, также, несомненно, влияет на основные черты хода зимнего режима реки.

Известно, что на реках заболоченных, т. е. имеющих определенные показатели грунтового питания, толщина образующегося льда даже в очень суровые зимы значительно (в 2—4 раза) меньше, чем на лежащих в том же климатическом районе реках незаболоченных.

При наличии значительного грунтового питания образовавшийся к моменту замерзания подводный лед более или менее быстро тает как в связи с прекращением теплоотдачи из воды, прикрытой льдом, так и под действием положительной температуры грунтового питания.

Ясно, что общие гидравлические и гидрологические условия участков, будучи различны для разных участков одной и той же реки, в основном остаются одинаковыми для одного и того же участка реки. Изменения этих характеристик в отдельные годы не выходят из некоторых определенных пределов, связанных с общими геоморфологическими условиями течения и питания реки на данном ее участке. Таким образом указанные условия должны ставить какие-то определенные пределы изменчивости и колебаниям характеристик зимнего состояния реки.

Поскольку отмеченные выше гидравлические и гидрологические факторы должны воздействовать на ледовые явления постепенно, в прямой связи как со своим характером, так и с соотношением их к факторам метеорологическим,— естественно предположить возможность определенных закономерностей отмеченного воздействия; именно можно предположить, что закономерности во влиянии гидравлических и гидрологических факторов могут определяться координатой времени, т. е. длительностью воздействия этих факторов на ту или иную фазу ледовых явлений (ледохода, ледостава).

В соответствии с этим, если обозначить через β_1 коэфициент, учитывающий гидрологические и гидравлические условия особенностей зимнего режима на данном участке, причем $\beta_1 = \beta \cdot \gamma$ из уравнения (209), то можно написать

$$\beta_1 = f(T, N), \tag{211}$$

где N —та или иная фаза ледовых явлений, T —длительность отдельных фаз от их начала.

Таким образом из рассмотрения роли в зимнем режиме реки всех трех главнейших групп воздействующих факторов можно притти к следующим основным выводам:

1) изменения объективных характеристик зимнего режима реки в условиях каждого отдельного участка реки должны быть достаточно устойчивыми и закономерными в той их части, которая зависит от гидравлических и гидрологических условий участка;

2) объективные характеристики зимнего режима на каком-либо участке реки меняются из года в год в той их части, которая зависит от колебаний характеристик климатического порядка, главным образом, температур воздуха.

При прежних обозначениях температуры воздуха через t, фазы ледовых явлений через N, длительности отдельных фаз, считая от их возникновения, через T, а высот уровней через H, можно написать в соответствии со всеми вышеприведенными рассуждениями следующее общее выражение:

$$K = \alpha \cdot \beta \cdot \gamma = f(\Sigma t, N, T, H). \tag{212}$$

Как это можно ожидать теоретически и как это следует из анализа фактических данных о величинах K для рек различных типов, в общем случае можно констатировать различный ход изменчивости K для таких характерных периодов зимних сезонов: 1) осенний ледоход —назовем его периодом I, —K изменяется от 1,00 до его наименьшего значения при ледоходе; 2) начальный ледоставный (период II), в течение коего река преодолевает начальные значительные сопротивления от смерзшегося на поверхности льда и от образований подводного льда, стремясь к установлению некоторого равновесия, иногда независимо от хода температур воздуха; длина этого периода обычно мало колеблется около какого-либо определенного числа дней и может быть принята прибли-

женно-постоянной; в этом периоде K изменяется от его среднего значения в первый день ледостава до какой-то определенной величины; 3) установившийся ледоставный (период III), в течение коего ход значений K зависит, главным образом, от хода температур воздуха, а также от длительности явления; 4) переходный зимне-весенний (период IV), начало коего совпадает с переломом на весну (более или менее резкое повышение температур, окончательный переход их через 0° в сторону положительную) и который оканчивается последним днем ледостава; в этот период K более или менее резко увеличивается до своего предельного значения в конце ледостава; 5) весенне-ледоходный (период V), в течение коего K возрастает от его значения в последний день ледостава до 1,00. В более сложных случаях период III может распадаться еще на несколько подпериодов. В более простых случаях может отсутствовать период II, т. е. начальный ледоставный, и даже не быть определенно выраженным период IV, т. е. имеют место всего лишь 3 периода: I, III и V.

Как показывает анализ достаточно многочисленных фактических данных (выполненный по 16 различным пунктам различных рек СССР: Днепр, Припять, Десна, Сож, Дон, Волга, Свирь, Кама, Колва, Печора) [1], в различных конкретных условиях наиболее эффективно могут влиять на величины K различные комбинации выделенных выше главных действующих факторов: Σt, N, H и T.

Удобно далее выделить особо закономерности только для основной фазы ледовых явлений, т. е. для ледостава; тогда этим исключается четвертый компонент нашего общего соотношения $K = f(\Sigma t, N, H, T)$, т. е. фаза ледовых явлений N, и остаются возможные комбинации только из основных трех компонентов — Σt, H и T.

Выделение фазы ледохода, как осенне-зимнего, так и весеннего, целесообразно потому, что для этой фазы мы по необходимости (за отсутствием по этому вопросу надлежащих материалов) вынуждены принимать почти всегда интерполяционную схему значений K по линейному закону, т. е. от 1,0 и до значения K в первый день ледостава для предледоставного ледохода, и от значения K в последний день ледостава (в конце зимы) до $K = 1$ в первый день «чисто» для весеннего ледохода. Для фаз ледохода в середине зимы приходится обычно принимать в той или иной мере условные стандартные шкалы $K = f(T)$, основывающиеся или на обычно случайных и единичных измерениях или на соображениях, аналогичных выше сформулированным положениям для предзимнего и предвесеннего ледоходов.

Таким образом, как видим, расчеты для ледоходных периодов обосновываются практически во всех случаях одинаково. Если поэтому иметь в виду только лишь ледоставный период, то при диференциации расчетных схем применительно к разным конкретным условиям в соответствии с вышесказанным, можно наметить такие возможные типы расчетных схем:

$$\left.\begin{array}{llll} \text{I тип:} & K = f(\Sigma t, T, H); & \text{V тип} & K = f(\Sigma t); \\ \text{II} \quad \text{„} & K = f(\Sigma t, T); & \text{VI} \quad \text{„} & K = f(T); \\ \text{III} \quad \text{„} & K = f(\Sigma t, H); & \text{VII} \quad \text{„} & K = f(H); \\ \text{IV} \quad \text{„} & K = f(T, H); & \text{VIII} \quad \text{„} & K = \text{const}. \end{array}\right\} \qquad (213)$$

Наконец, как особый случай типов VII и VIII следует упомянуть отмечавшееся ранее возможное применение зависимости $Q_з = f(H_з)$.

Во всех указанных выражениях для K — компонент Σt имеет в виду те или иные числовые характеристики различных комбинаций хода ежедневных температур воздуха по ближайшей метстанции, взятые в том их толковании, которое приведено ранее; эти числовые характеристики могут браться или для всего периода ледостава или для части его; в общем случае связь компонента Σt с ходом значений K должна выражаться специально построенной для дан-

[1] См. проф. А. В. Огиевский, Об обоснованиях вычислений зимнего стока (по новым данным). Сборник «Сток и факторы стока», Труды Института водного хозяйства Академии наук УССР, вып. 4, Киев, 1936 г. (на укр. языке).

ных условий графической зависимостью, а в отдельных случаях и более простыми соотношениями.

Влияние фактора T — продолжительности ледостава — в общем случае может выявляться в течение всего периода ледостава или только для части его.

Фактор H (уровни) может влиять на ход значения K в столь же различных формах, как и фактор Σt. Что касается сущности влияния на ход значения K факторов T и H, то причины и форма этого влияния понятны из тех общих предпосылок и положений, которые изложены ранее.

Наиболее сложный вид должны иметь расчетные схемы типа I; очевидно, что схема эта может иметь место при сравнительно небольших глубинах реки или при значительных их изменениях, т. е. для случаев зимних паводочных горизонтов.

Тип II был успешно применен автором в значительном количестве случаев: для Днепра у Киева, у Лоцманской Каменки, Речицы и Орши; для Припяти у Мозыря, для Сожа у Гомеля, для Волги у Тетюшей и у Ярославля, для Камы у Перми.

Примеры применения зависимостей типа III, V, VI и VII также имели место в нашей практике.

Тип IV в практике известных нам расчетов не встречался.

Тип VIII, когда $K = \text{const}$, можно интерпретировать так же, как частный случай наличия зависимости $Q_{зим} = f(H_{зим})$, ибо условие $K = \text{const}$ необязательно для наличия зависимости $Q_{зим} = f(H_{зим})$. Очевидно, этот тип в чистом его виде вряд ли возможен, хотя бы потому, что изменения значений K всегда имеют место в предвесенний период, даже при их практическом постоянстве в течение остальной части периода ледостава.

Итак, из установленных нами восьми возможных основных типов расчетных схем только два типа (IV и VIII) не нашли обоснованного отражения в имеющихся и известных нам материалах соответствующих построений; из шести остальных типов, повидимому, наиболее общим является тип II, что вполне увязывается с очевидной наиболее эффективной ролью в закономерностях, управляющих ходом зимних расходов, компонентов Σt и T.

Можно полагать, что типы I и II должны иметь особо широкое применение в условиях юга и средней полосы; тип V, вероятно, более пригоден для рек юга, где можно ожидать особо сильного воздействия температур воздуха, значительно превалирующего над возможным влиянием иных факторов. Тип VI свойственен, повидимому, рекам севера, со спокойным течением, а также озерным рекам с многоводным питанием. В первом случае слабое воздействие, как правило, только лишь отрицательных температур воздуха на ход зимнего режима реки, покрытой льдом, понятно без особых пояснений; во втором случае сказывающееся во времени воздействие на лед (поверхностный и подводный) поступающих из озера значительных масс воды может также сказаться сильнее, чем воздействие хода температур воздуха.

II. Применение метода. Таким образом задача нахождения расчетной схемы для вычисления зимних расходов сводится к отысканию определенного вида для общего выражения. Ясно, что частное конкретное решение может быть найдено лишь для каждого отдельного случая (отдельного участка, отдельной реки) особо. Ясно также из сказанного, что раскрыть общее выражение (213) можно лишь на основе анализа ряда фактических данных: 1) действительных измерений зимних расходов в различные фазы ледовых явлений (и притом в разные периоды этих фаз); 2) наблюдений за ходом температур воздуха. В связи с особенностями обычного распределения этих последних можно предполагать возможность использования температурных данных, наблюденных не только у пункта измерений расходов, но и на некоторых расстояниях порядка в несколько десятков километров и, может быть, даже и более. Это последнее предположение целиком подтвердилось для ряда отдельных конкретных случаев.

Общий путь решения поставленной задачи (как и всякой другой, заключающейся в выявлении конкретного вида общего теоретического выражения),

повидимому, должен основываться на внимательном анализе соотношений между упомянутыми выше данными для действительных измерений и наблюдений.

Этот анализ удобно выполнять в таком порядке:

1. Необходимо составить ведомость основных характеристик измеренных зимних расходов, с такими примерно графами: 1) № по порядку; 2) даты измерений; 3) обозначение ледовых фаз: даты начала и конца, названия фаз; 4) величины измеренных зимних расходов; 5) отвечающие им уровни; 6) отвечающие последним расходы по летней кривой расходов; 7) значения K; 8) T_1 — число дней от начала фазы ледовых явлений; 9) T_2 — число дней от конца данной фазы ледовых явлений; 10) наличие шуги или донного льда.

Далее необходимо построить: 1) график соотношений $Q_{изм} = f(H)$, на котором необходимо нанести кривую $Q = f(H)$ для чистой воды; 2) графики $K = f(T)$ для периодов ледостава и при наличии соответствующих данных—отдельно для периодов ледоходов; на графике $K = f(T)$ для периода ледостава должны быть нанесены совмещенные со шкалой календаря для K кривые хода ежедневных температур воздуха по данным ближайшей метеорологической станции, начиная дней за 15 до начала ледостава и кончая последним днем ледостава; 3) графики ежедневного хода зимних уровней для лет, по которым имеются измерения зимних расходов, с указанием фаз ледовых явлений и дат измерений зимних расходов.

На всех вышеуказанных графиках точки зимних измерений расходов должны быть обозначены одинаковыми условными знаками, различными для различных лет, причем всем точкам должна быть дана соответствующая нумерация.

Анализ удобно начинать с выяснения степени разбросанности точек измерений на графике $Q_{изм} = f(H)$, выделяя при этом отдельно точки, которые относятся к предвесеннему периоду; оценку имеющей место разбросанности удобно выполнять после построения некоторой осредненной кривой.

2. Затем производится анализ хода значений K и значений ежедневных срочных температур. Анализ этот идет в следующих направлениях: а) каков общий ход значений K — имеют ли место какие-либо общие закономерности в ходе значений K на протяжении рассматриваемых периодов измерений; б) если в ходе значений K наблюдаются изменения, то не стоят ли они в связи с участками положительных температур или с участками особо низких температур на графиках последних; в) не имеют ли место в ходе значений K такие периоды, когда не обнаруживается влияния ни положительных, ни отрицательных температур (что нетрудно констатировать, сравнивая ряд лет с одинаковыми значениями K, но с разными значениями предшествующих температур); д) какие отдельные естественные периоды можно выделить в результате анализа хода значений K в зависимости как от T_1, так и T_2; е) не зависит ли K при прочих равных условиях от уровней $H_{изм}$ (при небольших средних глубинах).

3. Далее, если есть к этому основания, ищется зависимость (графическая) между теми значениями K, на которые влияют температуры воздуха, и значениями этих последних; при этом температуры воздуха могут браться в виде накоплений положительных или положительных плюс отклонения отрицательных температур от какого-то определенного предела (который назовем „критической" температурой); та или иная комбинация определяется на основе описанного выше анализа и уточняется рядом последовательных попыток. При этом для случая малых средних глубин отыскивается также мера влияния на K хода уровней.

4. В результате выполненного детального анализа полученных характеристик зимних измерений можно притти к различным расчетным схемам, включающим в себя различные комбинации расчетных элементов. Эти расчетные схемы являются конечным теоретическим итогом исследования, результирующим обнаруженные закономерности в ходе значений K.

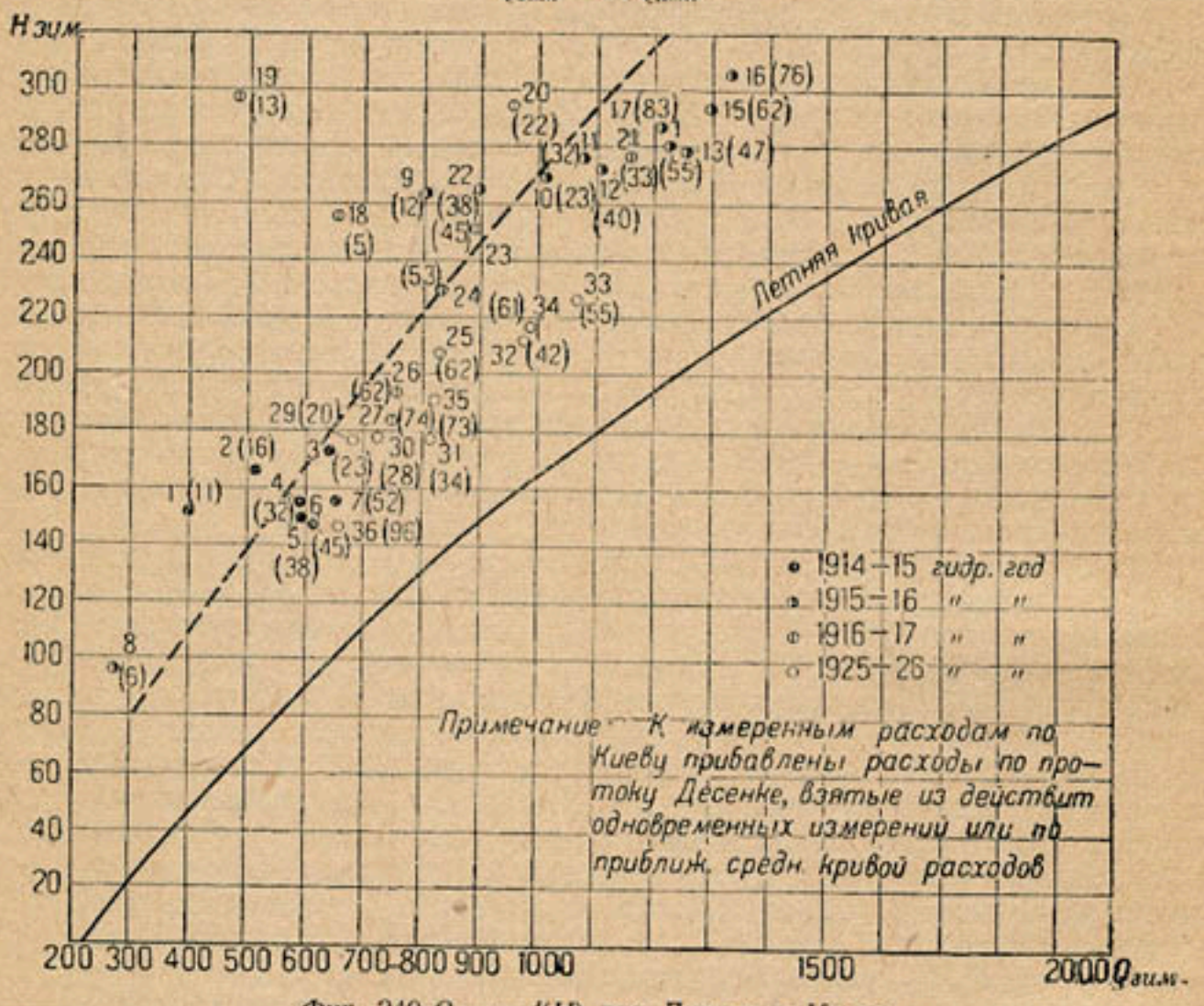
5. После составления расчетной схемы производятся вычисления сходимости получаемых по принятой теоретической схеме результатов с данными действительных измерений (т. е. вычисляются ошибки теоретической схемы). Величина и количество ошибок разных категорий сравниваются затем с теми ошибками, которые имеют место, если для вычисления зимних расходов принять одну приближенную кривую зависимости расходов от уровней, построенную по чертежу,

упомянутому выше в п. 1. Если достигнутое улучшение по выбранной схеме значительно, т. е. дает результаты в 2—3 раза лучше, чем во втором случае, задачу о нахождении расчетной теоретической схемы можно считать решенной.

6. Вычисления расходов проще всего вести таким порядком:

1) в соответствии с расчетной схемой составляются расчетные таблицы зависимости K от выбранных действующих факторов; 2) далее, в каждом зимнем сезоне выделяются обнаруженные естественные периоды; 3) наконец, по значениям зимних уровней и по соответствующим данным датам значениям K, пользуясь летней кривой расходов, определяются искомые $Q_{зим}$

$$Q_{зим} = KQ_{лет}.$$



Фиг. 249. $Q_{зим} = f(H)$ для Днепра у Киева.

Само собой разумеется, что даваемая нами схема расчета целиком применима и для случаев обычного для некоторых рек наличия подо льдом весьма значительного количества подводного льда. Что же касается случайных заторов и зажоров, то таковые легко выделить по свойственным им, в указанном их понимании, двум признакам: 1) кратковременность всего цикла (подъем, спад) явления (1—2—3 дня); 2) резкое несоответствие их условию непрерывного хода режима; выделив заторы и зажоры, проще всего на графиках уровней, легко исключить их из расчета соответствующей срезкой пики (низовой затор, зажор) или плавным соединением впадины (верховой затор, зажор).

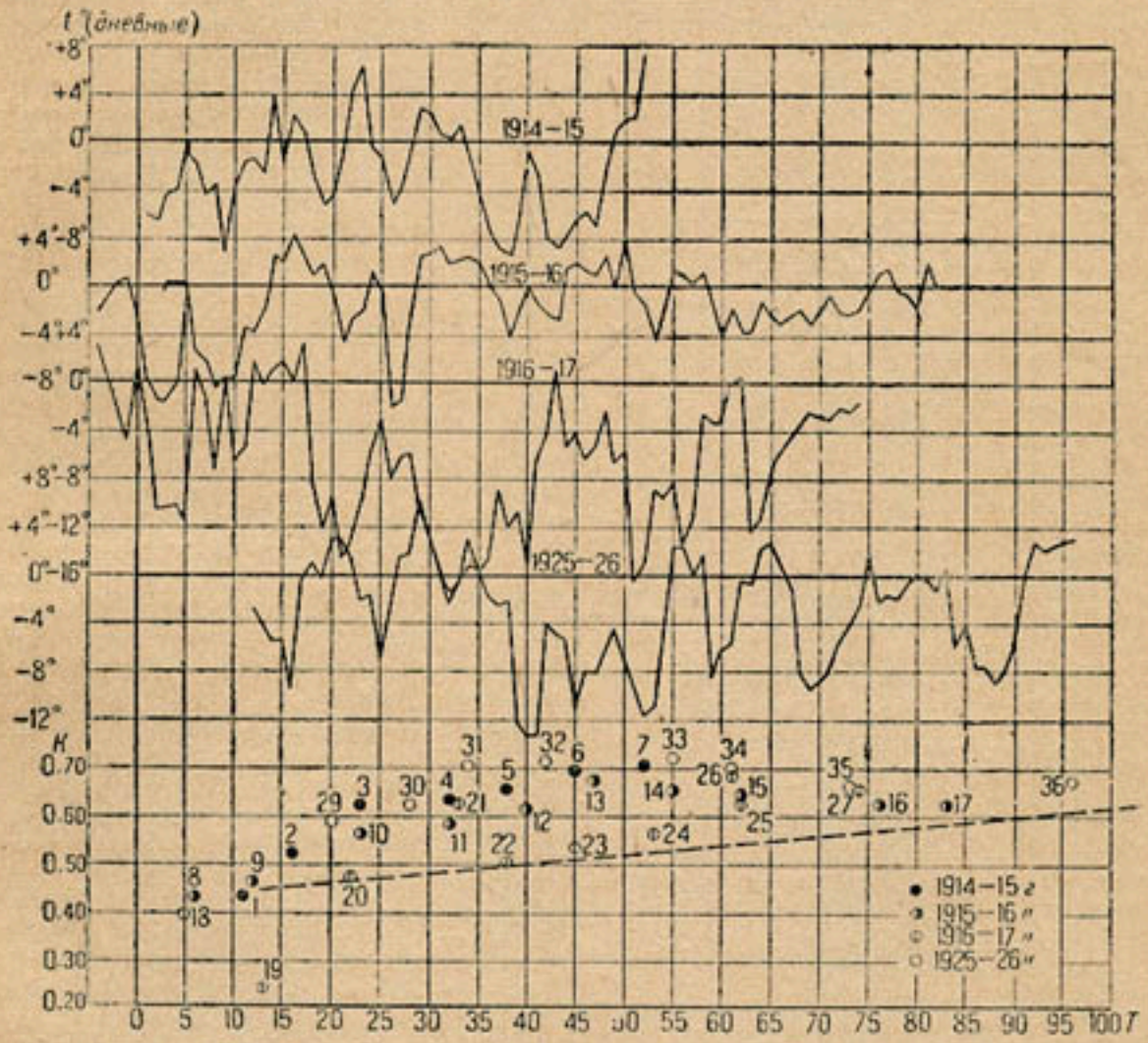
Таким образом и «зажорность» рек не служит препятствием к пользованию методом. Для уверенности в том, что случайные зажорные или заторные явления в ходе расчетов прокорректированы, нами, как правило, принято обязательное построение зимних гидрографов по вычисленным значениям Q.

По таким гидрографам, далее, должна быть выполнена детальная поверка каждого года; в местах.

вызывающих сомнения, на основе рассмотрения графиков хода уровней на данном и соседних водопостов, а также на основе анализа хода температур воздуха, должны быть внесены соответствующие коррективы.

Описанный метод с успехом применялся для различных рек СССР, начиная с Днепра и его притоков и кончая Волгой и рядом рек Северного района.

Максимальные ошибки при применении нашего способа практически не выходят из пределов, допускаемых при измерениях зимних расходов, и в огромном большинстве случаев (75—92%) заключаются в границах до 10%. Также оказалось, что особо значительные улучшения имеем в тех случаях, когда разбросанность точек зимних расходов на графике $Q_з = f(H_з)$ достигает особо значительных размеров (например, Лоцманская Каменка, Киев).



Фиг. 250. Ход K и температур воздуха для Днепра у Киева.

Можно также подчеркнуть устойчивость получаемых расчетных соотношений, целиком оправдавшуюся на ряде примеров.

Само собой разумеется, что надежность окончательной расчетной схемы целиком определяется количеством и качеством исходных материалов; если измерения имеются по небольшому числу лет, то может случиться, что не все возможные типы зим будут отображены в расчетном построении.

Известные неудобства в нашем методе, с некоторой точки зрения, может представлять предлагаемый графический способ сопоставлений и анализа исходных данных. Этот путь, однако, обусловливается, как уже отмечалось, общим характером задачи, которая является неопределенной по своей сути в общей ее интерпретации, ибо невозможно ввести в математический расчет такие неизвестные величины, как, например, закон температурного режима грунтового питания зимой; зависящий от этого закон изменения нижней поверхности льда; закон рассасывания взвешенного пловучего и донного льда; закон изменения поверхностного льда перед весенним вскрытием и т. д.

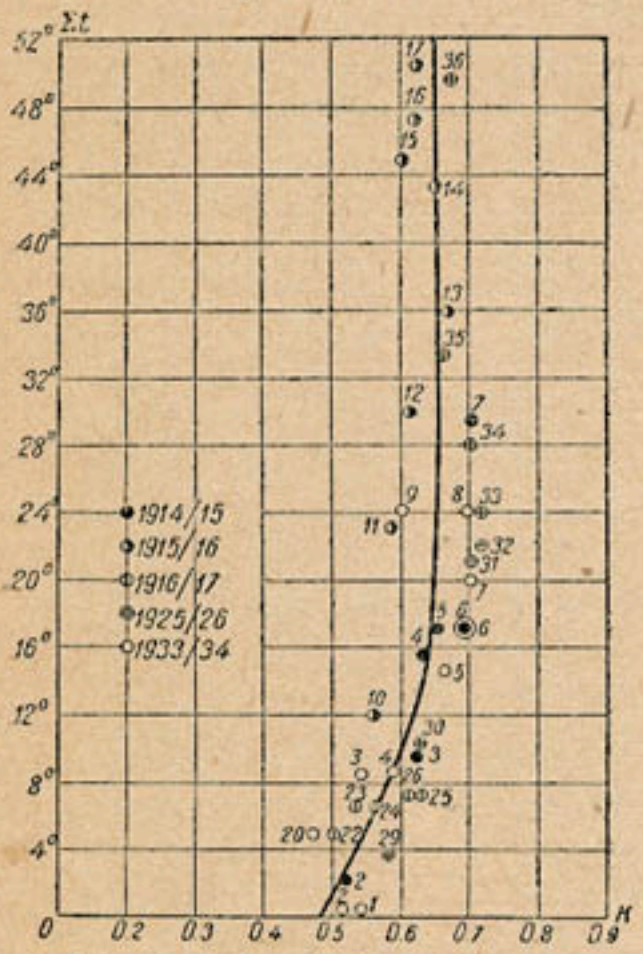
III. Примеры вычислений. Приведем примеры вычислений зимних расходов по гидрометеорологическому способу для таких случаев: 1) Днепр у Киева (построение 1930 г.) и 2) Свирь у Пиркиничей (построение 1935 г.).

По Днепру у Киева имелось 35 измеренных зимних расходов за годы 1914/15 — 1916/17 и 1925/26.

Общий вид расположения этих точек на графике зависимости $Q_{изм} = f(H_{изм})$ дан на фиг. 249; у точек кроме номеров их показаны также значения T_1 — число дней от начала ледостава (в скобках). Из фиг. 249 видно:

1. Разбросанность точек достигает весьма больших пределов; имеют место отклонения до 40% от средней кривой (показанной пунктиром).

2. Намечается довольно хорошая закономерность, перебиваемая лишь в некоторых местах: чем к более раннему периоду ледостава относятся точки измерений, тем левее они располагаются на чертеже; точки конца зимнего периода, все без исключения, ложатся справа от середины поля всего расположения точек. Из этого последнего обстоятельства можно сделать такой вывод: в условиях Днепра у Киева величина сопротивлений от льда в первую очередь меняется (в сторону их уменьшения) в зависимости от длительности фазы ледостава.



Фиг. 251. $K = f(\Sigma t)$ для Киева.

График хода значений K и хода ежедневных температур воздуха (дневных, по Киевской обсерватории) дан на фиг. 250.

Этот чертеж обнаруживает следующее:

1. Имеет место начальный период, в течение коего значения K возрастают довольно интенсивно от минимального своего значения в первые дни ледостава до значения около 0,45 на 14—16-й день ледостава независимо от хода температур; прямолинейной экстраполяцией отмеченного хода значений K нетрудно получить минимальное значение K в первый день ледохода — около 0,35.

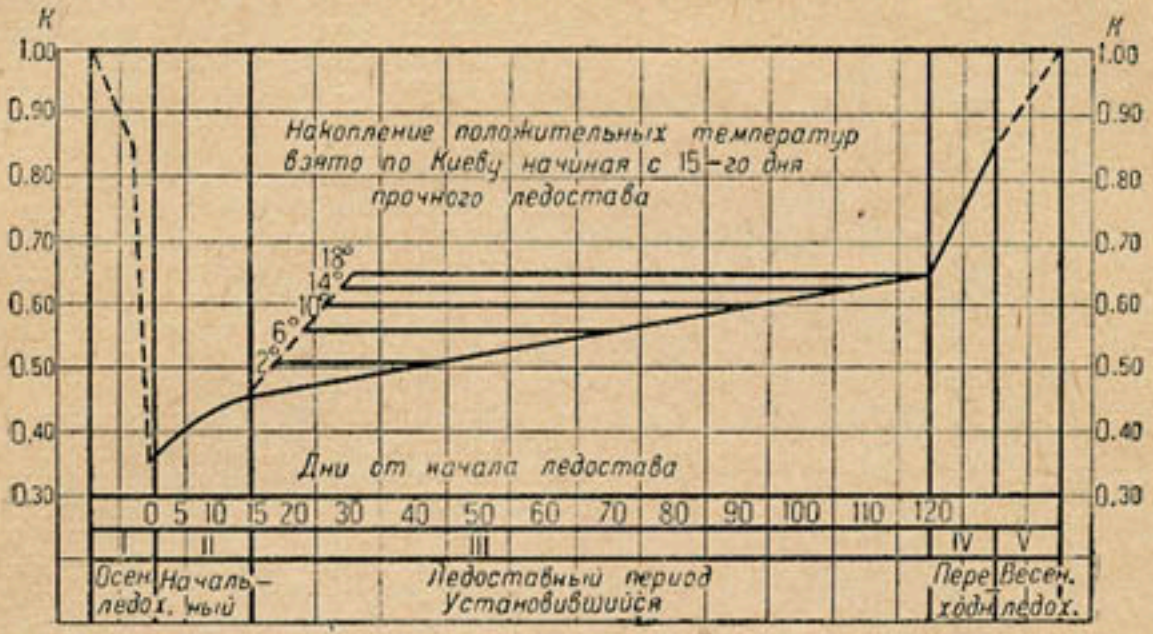
2. Далее, после 14 — 15-го дня от начала ледостава значения K для суровой зимы 1916/17 г. лежат ниже всех остальных значений K, в пределах 0,45 — 0,50 в первой половине зимы и около 0,65 к концу зимы, т. е. обнаруживая уже отмеченную на фиг. 249 ясную тенденцию к возрастанию, независимо от низких температур. Для теплой зимы без низких отрицательных температур (1915/16 г.) значения K в начале зимы идут значительно выше точек 1916/17 г., около 0,55—0,60, но к концу этой теплой зимы точки значений K принимают почти те же значения, что и точки измерений 1916/17 г. Год 1925/26, имевший между 20-м и 35-м днем от начала ледостава высокие температуры (до +6°), также характеризуется высокими значениями K в первой и второй половине зимы; этот год имел также около 40-го дня от начала ледостава довольно низкие отрицательные температуры, около —13°, но и тут эти отрицательные температуры, как и в 1916/17 г., заметного влияния на ход значений K не оказали.

Наконец, в самом конце зимы можно обнаружить тенденцию у значений K возрастать более или менее постепенно (точки *6* и *7* — 1915 г.), причем за начало этого возрастания естественно, очевидно, взять момент окончательного перехода температур воздуха через 0 в сторону положительных весенних температур.

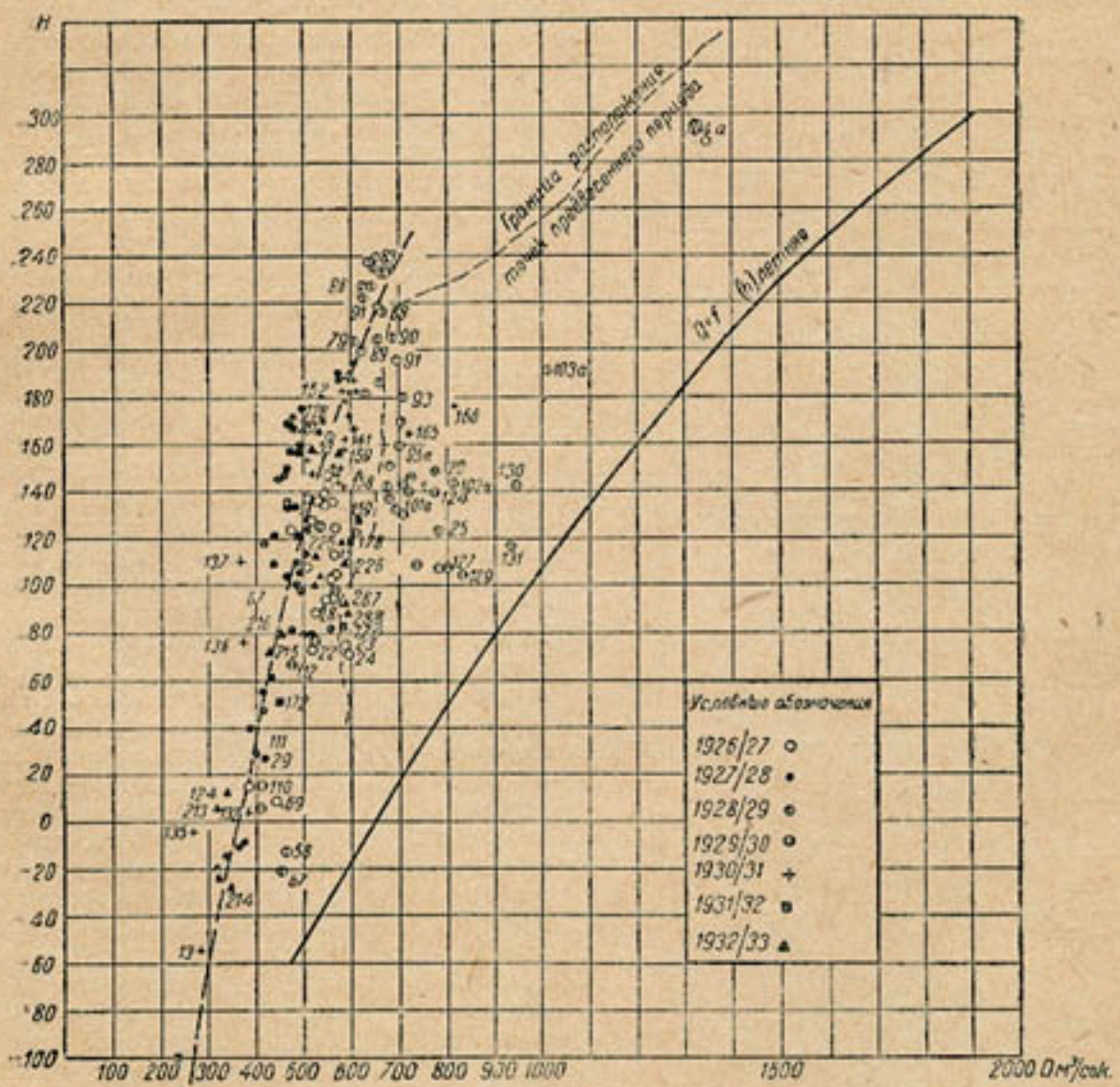
Из приведенного анализа можно сделать такой вывод: значения K в данном случае изменяются под влиянием двух главных факторов: а) продолжительности стояния ледостава и б) наличия накопления одних положительных температур воздуха; отрицательные температуры, имеющие место после ледостава, на ход значений K влияния, повидимому, не имеют. Зависимость хода значений K от продолжительности ледостава, т. е. от T_1, не осложненную влиянием положительных температур воздуха, повидимому, легко установить, основываясь на ходе значений K для суровых зим, которые не имеют дней с положительными температурами; таковой является зима 1916/17 г. Тогда прямая, изображающая собой отыскиваемый закон изменения K в зависимости от продолжительности стояния ледового покрова, может быть проведена так, как это показано на фиг. 250, т. е. несколько ниже значений K для 1916/17 г. в конце этой зимы.

Зависимость $K = f(\Sigma t)$ находится путем соответствующего графического построения (испробованы были комбинации не только с дневными температурами, но и с утренними и средними суточными; за расчетную была принята первая комбинация); это построение показано на фиг. 251. Приведенная схема построена в 1929 г.; на фиг. 251 нанесены в 1935 г. точки новых измерений 1933—1934 гг.; как видно, эти точки очень хорошо легли на прежде построенную кривую.

Интересно отметить, что довольно удовлетворительная связь получилась также для значений K просто с накоплениями числа дней, имеющих положительную температуру.



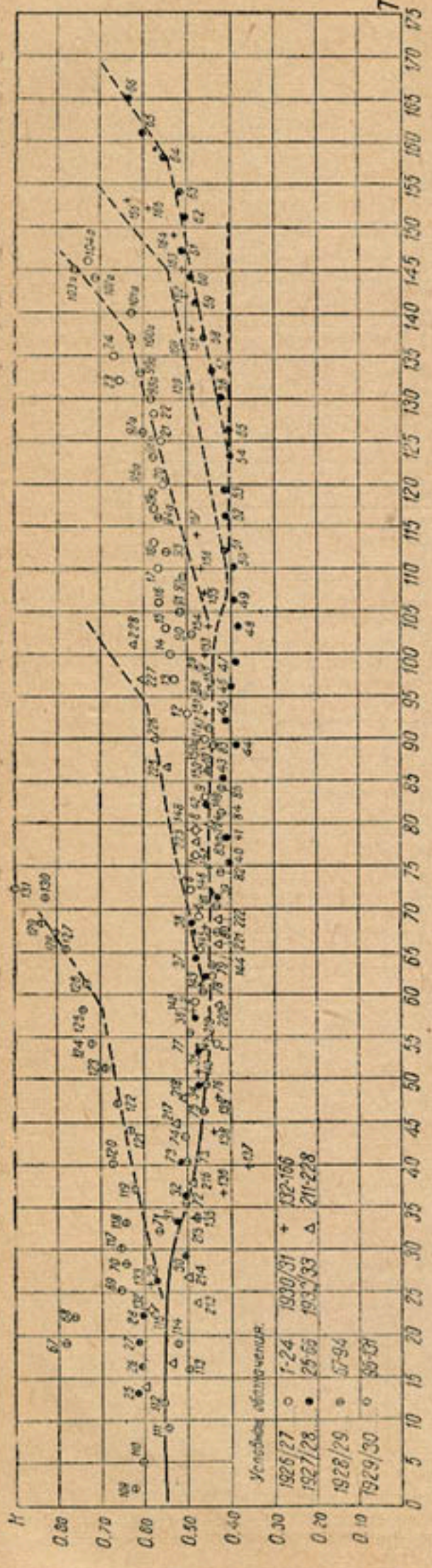
Фиг. 252. Расчетная диаграмма для Днепра у Киева.



Фиг. 253. $Q_{зим} = f(H_{зим})$ для р. Свири у с. Пиркиничи.

Таким образом в итоге разобранного, кроме периода начального — II, для условий Киева были установлены период III, в который $K = f(\Sigma t, T)$, и период IV, начинающийся после перехода температур через 0 в сторону устойчивых весенних положительных.

3. Для периодов ледоходов — осеннего (I) и весеннего (V) — за отсутствием хоть каких-либо данных по действительным измерениям,



Фиг. 254. $K = f(T)$ для р. Свири.

был принят приближенно линейный закон изменений K между граничными его значениями.

Окончательная расчетная диаграмма значений K для Киева показана на фиг. 252. Как видно из этой диаграммы, расчет по ней приходится вести так: если в периоде III какой-либо день от начала ледостава характеризуется накоплением t воздуха, дающем меньшие значения K, чем фактор продолжительности стояния льда — T, то значение K берется в соответствии с этим последним фактором; иначе из двух влияющих факторов в расчет принимается тот, который дает наибольшие значения K.

Для упрощения расчетов диаграмма фиг. 252 на самом деле была представлена в виде ряда расчетных таблиц.

Сходимость результатов, получаемых по установленной расчетной диаграмме, с действительными измерениями характеризуется отсутствием отклонений от действительности превосходящих 15%.

II. Свирь у с. Пиркинич и. Значения K колеблятся в пределах 0,38 и до 0,84 (в предвесенний период). На графике $Q_{изм} = f(H_з)$ обращает внимание весьма закономерное расположение точек измерений, выражающееся в том, что точки всего зимнего периода (включая и начальный), кроме предвесеннего, располагаются в общем достаточно близко к некоторой средней кривой (фиг. 253), давая отклонения от таковой лишь в единичных случаях более значительные, чем 15—25% (и в двух случаях до 33%); в огромном же большинстве случаев, порядка 80—90%, мы имеем по осредненному соотношению $Q_{изм} = f(H)$ отклонения от действительности, не превышающие 10—15%, т. е. вполне допустимые (кроме предвесеннего периода).

Значения K на графике $K = f(T)$ располагаются тоже весьма закономерно, обнаруживая весьма значительную и устойчивую зависимость от T (фиг. 254).

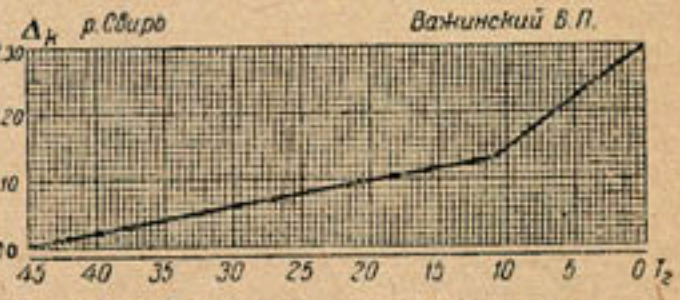
Если выделить из всех наличных точек измерения те, которые относятся к предвесеннему периоду, и провести по остальным точкам осредненную кривую $K = f(T)$ так, как это показано на фиг. 254, то эта кривая будет достаточно хорошо отвечать всем наличным измерениям, относящимся к шести разным годам. Точки предвесеннего периода, обнаруживая в своем расположении прямую связь с ходом положительных температур воздуха, в то же время имеют для всех лет близко аналогичный характер. Оказывается, что этот ход предвесенних точек удобно типизировать в соответствии со схемой фиг. 255, т. е. полагать, что начиная с 45 дня, считая от конца ледостава, значения K возрастают (от того их значения, которое имеет место в этот день по основной схеме хода значений K) по линейному закону до $\Delta K = 0{,}15$ для 10-го дня от конца ледостава и затем от этого последнего значения еще на $\Delta K = 0{,}15$ в течение последних 10 дней ледостава.

Если принять указанную стандартную схему расчетов, как будто бы достаточно обосновывающуюся данными имеющихся 195 измерений (относящихся к шести различным зимним сезонам и притом к различным периодам последних), то получаются такие отклонения от действительности: в пределах 30—36% —1 случай (или 0,5% всех случаев); в пределах от 25—30%—2 случая (1,0%); в пределах от 15—

20%—10 случаев (5,1%); в пределах 10—15%—13 случаев (6,7%); меньше 10%—169 случаев (86,7%)[1].

Как видим, результат получается весьма хорошим; ошибки более 20% имеем только в трех выпадающих случаях (№ 67, 68 и 137), а менее 15% — в 93,4% всех случаев.

Предвесенние измерения, как отмечалось, в своем ходе хорошо отражают ход температур воздуха. Попытка установить связь между Σt и значениями K привела к достаточно четкой зависимости, намечающейся между накоплениями ежедневных положительных температур воздуха, взятых начиная с 25-го дня ледостава, и значениями ΔK, т. е. превышениями K над значениями их, отвечающими осредненной кривой $K = f(T)$ по фиг. 254. Это построение дает максимальные отклонения от действительности порядка до 20—22%, и то в единичных случаях; в огромном же большинстве случаев ошибки не превышают 10 — 12%.



Фиг. 255. $\Delta K = f(T)$ для предвесеннего периода для р. Свири.

Однако ранее описанную стандартную схему по фиг. 255, не уступающую данной по точности, следует, повидимому, считать более удобной и простой и потому ее следует предпочесть для практических расчетов.

Таким образом данные измерений зимних расходов по Свири могут служить примером возможного применения весьма простых расчетных схем: или просто по осредненной кривой $Q_{зим} = f(H)$ для всего зимнего сезона, исключая предвесенний период и с интерполяционными подсчетами для предвесеннего периода; или же по стандартному графику хода значений K в соответствии со схемами фиг. 254 и 255.

III. Замечания о расчетных зависимостях для некоторых иных случаев. Укажем еще для примера результативный вид расчетных зависимостей для некоторых характерных случаев.

1. По Десне у Чернигова оказалось целесообразным пользоваться упрощенной расчетной схемой, приняв только пять различных средних значений K, назначаемых в зависимости от: а) одного из четырех естественных периодов зимнего ледостава; б) одной из трех градаций высот зимних уровней; в) одного из двух типов зим, определяемых по тому, больше или меньше нуля сумма ежедневных температур воздуха (положительных и отрицательных, меньших — 16), взятых за интервал от 25-го до 60-го дня ледостава.

2. Для Дона у х. Гремячего вполне удовлетворительное решение дает для периода ледостава зависимость вида $K = f(\Sigma t)$, где Σt — сумма среднесуточных температур от начала ледообразования.

3. Для Волги у Ярославля и для Волги у с. Тетюши имеют место для K зависимости типа $K_{ср} = f(\Sigma t)$ и константные шкалы изменений K вида $K = f(T)$ — для предвесеннего подъема подо льдом; при этом зависимости $K_{ср} = f(\Sigma t)$ связывают с р е д н и е значения K для периода ледостава каждого зимнего сезона (исключая предвесенний период) и суммы накоплений температур — положительных и отрицательных (для Ярославля — меньших —10, для Тетюшей — меньших — 15) за период в 30 суток, считая от начала ледостава. Для Тетюшей указанные средние значения K остаются для всего периода ледостава (без предвесеннего периода) практически постоянными, а для Ярославля — закономерно изменяются при $K_{ср} > 0{,}45$ по константному закону вида $\Delta K = f(T)$.

4. Для Камы у Перми, Колвы у с. Подбобыки и Печоры у Якшинской пристани имеют место вполне удовлетворительные расчетные схемы, аналогичные описанной выше для Свири у Пиркинпчей.

§ 131. Иные способы вычисления зимних расходов

I. Построение кривых расхода. В некоторых случаях для п р и б л и ж е н н ы х п о д с ч е т о в представляется возможным построить несколько отдельных кривых зимних расходов. Т а к о е п о с т р о е н и е в о з м о ж н о в ы п о л н и т ь т о л ь к о д л я т а к и х с л у ч а е в: 1) наличие условий, при которых отсутствует в сколько-нибудь заметных количествах донный и подводный лед; 2) наличие условий, при которых имеют место медленные и притом незначительные изменения толщины поверхностного льда. Построение кривых расходов выполняется графическим путем по нанесенным точкам измеренных расходов; точки измерений на чертеже сопровождаются надписью дат измерений и нумерации дней, считая от начала (T_1) и от конца ледостава (T_2); эти последние

[1] Не включенные нами в обработку из-за отсутствия по основному водомерному посту (у с. Важинки) данных о ледовых фазах данные измерений 1931/32 г. характеризуются ходом значений K, весьма близким к принятой стандартной кривой $K = f(T)$, с отклонениями порядка до 10—12%.

данные предварительно выписываются в таблицу, описанную в § 130. Удобно точки, относящиеся к одним периодам зимнего сезона (сообразуясь с общим расположением точек на чертеже и надписанными при них значениями T_1 и T_2), объединять в отдельные группы путем выделения их особыми условными знаками, например, обведением их кружками одинакового цвета (цветными карандашами).

В общем случае для каждого зимнего сезона должны иметь место 4 отдельные кривые расходов: 1) для начального периода замерзания — первые 10—15 суток; 2) для средней части зимы — самой длительной; 3) для периода перед вскрытием продолжительностью 5—10 дней; 4) для периода ледохода — весеннего и осеннего.

Применение построенных кривых к иным зимним сезонам, за которые измерений зимних расходов не имеется, допустимо только в тех случаях, когда в основу построения положены данные измерений не менее чем за 5—7 разнохарактерных зимних сезона, причем измерения более или менее равномерно распределены на протяжении отдельных зимних сезонов.

В случае если имеющиеся данные измерений позволяют построить только одну кривую расходов, обычно относящуюся к середине зимы (т. е. точек измерений для начала и конца зимы, а также для периодов ледохода не имеется), то вычисления зимнего стока для иных периодов п р и б л и ж е н н о можно выполнять так:

Принимают построенную кривую за действительную только для первых двух, указанных выше, периодов. Для периода же третьего — конца зимы и для весеннего и осеннего ледохода — вычисления ведут так:

По расходу, отвечающему уровню, взятому дней за 5—10 до начала весеннего подъема (или по расходу, отвечающему 10—15-му дню от начала ледостава — для начала зимы), вычисленному по принятой зимней кривой расходов, определяют характеристику ΔH или K (§ 127) и затем для периода от взятой даты до конца зимнего сезона (или от начала ледохода — для начала зимы) принимают линейное изменение величины ΔH или K до их предельных значений при ледоходе (или при начале ледохода — для начала зимы); исходя из этих значений ΔH или K и вычисляют все расходы для рассматриваемого периода.

При применении для вычислений характеристик K удобно пользоваться табличной формой, аналогичной табл. 30 § 129; при применении характеристик ΔH можно пользоваться табличной формой по табл. 30а.

ТАБЛИЦА 30а

Вычисления зимних расходов за ..... год

Дата (месяц и число)	Зимний уровень в лунке $H_{зим}$	Значение ΔH_i	$H_{зим} - \Delta H_i = H_{лет}$	Расход, отвечающий $H_{лет}$ по летн. кривой $= Q_{зим}$	Примечания
1	2	3	4	5	6
					Конечное значение ΔH для осеннего периода взято по ..... дню от начала ледостава и равно ..... *м* Начальное значение ΔH для конца зимы и весеннего ледохода взято по ..... дню от конца ледостава и равно ..... *м*

С л е д у е т и м е т ь в в и д у, ч т о п о д о б н ы й с п о с о б р а с ч е т а д л я п е р в ы х 10—15 д н е й л е д о с т а в а, а т а к ж е д л я к о н ц а з и м ы, м о ж е т д а в а т ь в е с ь м а к р у п н ы е о ш и б к и, е с л и н е и м е ю т м е с т а у с л о в и я, у к а з а н н ы е в н а ч а л е н а с т о я щ е г о п а р а г р а ф а.

Вычисления для средней части зимы ведутся при помощи заранее составленных расчетных таблиц (§ 119).

Само собой разумеется, что для могущих иметь место заторов или зажоров (§ 126) выведенные зависимости совершенно недействительны. В этом случае надо заторные и зажорные уровни исправить, приводя их к нормальным.

Если имеется возможность построить кроме кривой для зимних расходов, относящейся к среднему промежутку зимнего сезона, также кривые для конца осеннего и начала весеннего ледохода, то построение интерполяционных графиков хода ΔH или K может быть выполнено аналогично сказанному выше соответственно для промежутков между серединой зимы и концом осеннего или началом весеннего ледохода, а также для обоих периодов ледохода.

II. Гидравлические приемы. Ряд исследователей видит возможность решения вопроса о вычислении зимних расходов в использовании для таковых гидравлических соотношений, учитывающих влияние ледовых явлений.

Предложения такого рода можно объединить под названием «гидравлических» приемов.

В основу некоторых из этих предложений положено предположение о возможности использовать для практических расчетов выражения типа приведенной в § 127 формулы (205), при пренебрежении соотношениями уклонов и шероховатостей; это предложение на практике совершенно не оправдывается. Иные авторы делают попытки вывести специальные формулы для вычисления средних скоростей течения подо льдом; эти попытки также не дали положительных результатов.

Ввиду сказанного рассмотрение гидравлических приемов вычисления зимних расходов приходится считать нецелесообразным.

§ 132. Упрощенные приемы вычисления зимних расходов

Можно различать два главных случая применения упрощенных приемов (дающих только грубо приближенные результаты):

1) наличие только лишь весьма малого количества данных зимних измерений расходов; 2) полное отсутствие измерений зимних расходов.

I. Случай наличия малого количества зимних измерений. При малом количестве зимних измерений расходов применяют такие приемы:

1. Вычисление зимних расходов выполняют по летней кривой $Q = f(H)$ с последующим введением в результаты исчислений (в виде помесячных величин) поправки, отвечающей величине K, одинаковой для всех лет вычислений и для всего периода наличия льда; эту расчетную величину K определяют по соображению с величинами K, вычисленными по действительным измерениям. Лучше, однако, в этом случае для периодов ледохода принимает иное значение K, чем для периодов ледостава, в пределах 0,80—0,90.

2. Для всех лет вычислений применительно к имеющимся данным измерений намечают и применяют константную шкалу значений K, диференцированную по отдельным календарным месяцам или их группам или, что более правильно, по периодам, выделяемым по признаку того или иного числа дней от начала зимнего сезона; эти значения K вводят обычно в расчет сразу в помесячные величины зимних расходов, предварительно вычисленных по летней кривой. Этот путь расчета должен, вообще говоря, давать более близкие к действительности результаты, чем путь исчислений, указанный выше в п. 1.

В виде примеров применения указанных приемов можно привести такие: С. И. Коллупайло при вычислении стока р. Немана за период 1812—1932 гг. [1] принял постоянные значения коэфициентов K, равные 0,40—0,60; при этом он исходил из учета «прыжка» уровня при ледоставе, срезая таковой до уровня воды перед ледоставом, а в особо сомнительных случаях ориентировался на низкие летние расходы.

Для р. Онеги у Каргополя при вычислении ее стока за период 1914—1931 гг. инж. Б. И. Скачковым применялся подсчет ежедневных зимних расходов по переходным коэфициентам K, отвечающим следующей градации:

[1] С. И. Коллупайло, Учет стока р. Немана за 1812—1932 гг., Труды IV Гидрологической конференции Балтийских стран, Ленинград, сентябрь, 1933 г.

для осеннего ледохода	0,95
» 1-й декады после ледостава	0,90
» 2-й » » »	0,80
» 3-й » » »	0,70
» 2-го месяца » »	0,60
» 3-го месяца и далее до весеннего подъема	0,50

после весеннего подъема — K постепенно увеличивался до 1,00 к моменту очищения реки от льда. Выбор указанных коэфициентов отвечал действительно наблюденным соотношениям K по замеренным для разных периодов зимним расходам[1].

Для реки Вычегды у с. Парч[1] (1929—1932 гг.) зимние расходы подсчитывались на основе следующих переходных коэфициентов, принятых в соответствии с данными действительных измерений:

для начального периода	$K = 0{,}75$
» декабря	$K = 0{,}50$
» января	$K = 0{,}40$
» февраля, марта и апреля	$K = 0{,}30$

причем сопряжение между указанными опорными точками выполнялось путем прямолинейной интерполяции.

II. О вычислении зимних расходов при отсутствии зимних измерений. При отсутствии каких бы то ни было данных зимних измерений речь может итти лишь о весьма грубом приближении к действительности, отнюдь не исключающем возможности весьма значительных ошибок в полученных величинах зимних расходов (§ 128).

Из сказанного в § 130 видно, что условия, определяющие изменчивость и ход величин переходных коэфициентов K, не дают оснований к их географическому районированию, хотя бы в среднем выводе; с этой точки зрения следует предостеречь от определения расчетных значений K путем механического переноса на данную реку величин K с соседней реки или пункта. Некоторые указания для грубо приближенного определения величин K можно наметить, исходя из характеристик основного комплекса главных действующих факторов, определяющих тот или иной ход значений K, т. е. принимая во внимание следующее: 1) гидравлические характеристики участка створа, из коих главнейшими являются глубины и скорости течения; 2) гидрологические характеристики участка створа, а именно характер питания, в частности, размеры и режим подземного питания; 3) климатические характеристики района, определяющие, главным образом, ход зимних температур воздуха.

Применительно к указанным трем главным группам действующих факторов в качестве первого грубого приближения можно дать для различных конкретных условий вероятные величины осредненных значений K (для периодов ледостава), приведенные в табл. 31.

Пользование приведенной схемой допустимо только лишь для выполнения грубо ориентировочных вычислений зимнего стока при полном отсутствии данных действительных измерений.

§ 133. Особые случаи при наличии льда

Из особых случаев установления связи между расходами и уровнями (описанных в §§ 116—125) для периодов наличия льда могут внести значительные усложнения в расчеты такие случаи: 1) переменное русло; 2) переменный подпор; затруднения, свойственные двум другим случаям, — резкое изменение уклонов и водная растительность, — в зимний период обычно себя не проявляют.

Значительные усложнения расчетов стоят в связи с тем, что факторы изменчивости русла и факторы переменного подпора затемняют и без того зачастую неясную картину соотношений зимних расходов с уровнями и не всегда могут быть отделены от факторов, свойственных ходу зимнего режима непосредственно.

При наличии переменного русла можно различать 2 главных случая (§ 123): 1) изменчивость периодическая и временная и 2) изменчивость непрерывная. В первом случае в наблюденные зимние уровни следует вно-

[1] Записки Государственного гидрологического института, т. XII, под редакцией Л. С. Берга, Ленинград, 1934 г.

ТАБЛИЦА 31

№ по пор.	Средние значения K	Комплекс действующих факторов			
		Глубины и скорости течения	Условия питания и летние минимумы	Климатический район	Примеры
1	0—0,20	1. Малые глубины (до 1,0—1,5 *м*) и малые скорости	1. Летние минимумы незначительны, включительно до нуля (пересыхание)	1. Южная полоса европейской части СССР	
		2. Значительные глубины и скорости	2. Летние минимумы могут быть весьма значительны	2. Северные районы азиатской части СССР	р. Енисей, р. Яна
2	0,20—0,40	Малые глубины, до 1,0—1,5 *м*. Скорости течения порядка 0,30—0,40 *м/сек*	Летние минимумы порядка единиц $м^3/сек$, пересыхание отсутствует	Европейская часть СССР	р. Медведица, р. Крынка
3	0,30—0,50	Глубины порядка 1,0—3,0 *м* Скорости порядка 0,20—0,50 *м/сек*	1. Летние минимумы порядка десятков и сотен $м^3/сек$	1. Северный край европейской части СССР	р. Кама, р. Колва и р. Печора
			2. Летние минимумы порядка единиц и десятков $м^3/сек$	2. Средняя полоса европейской части СССР и южная полоса европейской части СССР	р. Тверь, р. Унжа, р. Каменка
4	0,40—0,60	Глубины порядка 2,0—6,0 *м*; скорости течения порядка 0,20—0,50 *м/сек*	1. Озерное питание	Средняя полоса европейской части СССР	р. Свирь
			2. Летние минимумы порядка сотен и тысяч $м^3/сек$	Средняя и южная полоса европейской части СССР	р. Волга у Ярославля, Тетюшей, Вязовых
5	0,50—0,60	Глубины порядка 1,50—4,0 *м*; скорости течения порядка 0,30—0,60 *м/сек*	Летние минимумы порядка десятков и сотен $м^3/сек$	Средняя и южная полоса европейской части СССР	р. Десна у Чернигова, р. Сож у Гомеля, р. Днепр у Речицы, р. Дон у Калача
6	0,60—0,80	1. Глубины порядка до 1,0—1,5 *м*; скорости течения порядка 0,10—0,20 *м/сек*	1. Заболоченный бассейн и долина реки	Средняя и южная полоса СССР	р. Сула
		2. Глубины до 2—3 *м*	2. Озерные бассейны	Средняя и северная полоса европейской части СССР	р. Нива, р. Выг

сить поправки Стаута ΔH, определяемые по данным измерений, имевшим место непосредственно перед наступлением ледовых явлений, или иным путем (§ 123); эти поправки можно полагать приближенно постоянными для всего периода состояния реки подо льдом. Дальнейшие обработки можно производить как для обычного русла, по способам, изложенным в § 129 — для интерполяционных вычислений, и по способу § 130 — для вычислений за годы, по которым отсутствуют действительные измерения $Q_{изм}$. Следует отметить, что при интерполяционных вычислениях зимних расходов путем предварительной срезки зимних уровней на величины ΔH, определяемые по данным зимних измерений (§ 127), учет изменчивости русла выполняется автоматически, сам собой, ибо величины ΔH результируют тогда и влияние факторов зимнего режима и изменчивость русла.

В случае непрерывной изменчивости русла единственный возможный путь хотя бы приближенно верного вычисления зимнего стока — использование весьма частых измерений расходов; вычисления стока удобно вести в этом случае также при помощи предварительно вычисленных значений ΔH и соответствующей срезки зимних уровней.

При наличии переменного подпора соотношение уровней с расходами, как указывалось (§ 124), осложняется тем, что при одном и том же уровне имеют место разные скорости; это учитывается при открытом русле введением в расчет третьей величины — уклона или падения воды на участке у поста. При появлении льда дополнительными факторами явятся: 1) изменения Ω и 2) изменение $v_{ср}$ за счет иных, и притом переменных, шероховатостей, а также за счет искажения уклонов под влиянием льда. Эти дополнительные факторы можно приближенно учитывать так:

Точки измеренных расходов наносятся на чертеж с обозначением при них отвечающих им падений (уклонов — см. § 124, п. II). Далее, все точки разбиваются на группы, применительно к существующим для летних кривых градациям падений (уклонов). Обработка измерений, относящихся к каждому данному значению падения, выполняется для соответствующей ветви кривых расходов так, как это делается при наличии однозначной связи расходов с уровнями при открытой реке (§§ 129 и 130). Путь этот, однако, не всегда может оправдать себя.

Для более уверенных вычислений следует иметь возможно более частые измерения расходов. На основании таковых вычисления зимнего стока можно вести так:

1) следовать способу § 129, п. II, т. е. вычислять значения ΔH и по ним находить интерполяционную кривую поправок ΔH;

2) если зимние измерения расходов измерялись более или менее равномерно по времени и в то же время приурочивались к переломным точкам в ходе уровней, то для вычисления зимнего стока можно никаких кривых расходов или соотношений $Q_з$ с $H_з$ и другими факторами зимнего режима не отыскивать; в этом случае точки измеренных расходов наносятся на чертеж с графиком хода уровней, и расходы за дни, не освещенные измерениями, находятся путем проведения интерполяционной линии, соединяющей точки отдельных измерений.

ГЛАВА XXIII

ВЫЧИСЛЕНИЕ СТОКА

§ 134. Вычисление секундного стока

Основной характеристикой стока является среднесекундный сток, т. е. сток, выраженный в $м^3/сек$. Если такую характеристику умножить на число секунд в данном периоде, то получим суммарный сток, т. е. суммарное количество воды, протекшее за данный период через данное живое сечение. Секундные характеристики стока значительно удобнее суммарных, ибо последние выражаются многозначными громоздкими цифрами даже при малых значениях секундных расходов.

Вычисление стока для любых периодов в общем случае следует производить путем вычисления ежедневных среднесуточных секундных расходов (§ 135).

Так как обычно уровни наблюдаются более одного раза в день, то предварительно вычисляют среднесуточные уровни (§ 45); при спокойном режиме реки можно для вычисления ежедневных расходов исходить из каких-либо срочных суточных наблюдений за уровнями, например, утренних, принимая их условно за отвечающие среднесуточным — для половины данных и предшествующих суток.

При резких изменениях уровней в течение суток следует вычислять расходы для каждого наблюденного уровня и уже из этих величин выводить среднее за сутки (§ 135).

В таком случае вычисление ежедневных расходов для периода, свободного от льда, сводится к механическому переписыванию в соответствующую табличку соответствующих расходов из расчетной таблицы. При этом удобно числа месяцев писать один раз, в первой вертикальной колонке, а далее — уровни и расходы для последовательно идущих месяцев. Полезно делать пропуски по две строчки через каждую пентаду (5 дней) или декаду для нужд последующих обработок.

Внизу следует оставлять несколько горизонтальных строк — одну для помесячных сумм, другую — для среднеарифметических значений расходов для каждого месяца.

По полученным данным о ежедневных расходах полезно строить аналогично графикам уровней графики ежедневных расходов или гидрографы, показывающие ход изменений расходов на протяжении обрабатываемых периодов.

По гидрографу удобно вычислять ряд характерных величин стока. Объем воды, прошедшей через поперечное сечение реки у данного пункта в течение любого периода, определится из площади гидрографа, вычисленной для данного периода (планиметрированием), помноженной на число секунд в сутках (86 400). Средняя величина секундного расхода за тот же период определится от деления полученной планиметрированием площади на число дней в периоде.

Выполнив вычисление ежедневных среднесуточных секундных расходов для всех месяцев данного года, необходимо найти средние значения расходов для отдельных календарных и естественных периодов. Необходимо находить средние значения секундных расходов (как соответствующие среднеарифметические, путем деления суммы за данное число дней) для таких периодов: 1) месяцы; 2) сезоны; 3) год. Иногда определенные значения секундных расходов полезно находить еще для каждой декады и даже пентады в отдельных месяцах. Год для вычислений следует брать не календарный, а гидрологический, т. е. начинающийся с осени или зимы. За начало гидрологического года берут обычно начало зимы, т. е. начало того периода, когда река переходит почти исключительно на питание грунтовыми водами, и в то же время начинается накапливание осадков в бассейне в виде снега. В среднем для условий европейской части СССР началом гидрологического года можно считать 1/XI; концом гидрологического года в этом случае будет 31/X последующего года. Иногда берут начало 1/X или 1/IX как начало осени; гораздо реже вводят скользящий гидрологический год, т. е. начало его в каждом году приурочивают к действительным датам перехода на зимний режим, т. е. к датам замерзания; это удобно делать только при обработках, имеющих задачей специальные исследования.

Сезоны также целесообразно выделять по естественным признакам; зимний — от начала замерзания до начала весеннего подъема воды, весенний — до конца спада, летний — до начала обычной осенней прибыли; границы сезонов для удобств обработки полезно брать совмещенными с началом месяцев.

Средние выводы по месяцам, сезонам и за год следует при обработках за многолетний период выносить в особые сводные таблицы.

Для многолетних обработок следует находить среднемноголетние значения для каждого месяца, сезона и, наконец, года. Заметим, что среднемноголетняя величина стока для какого-либо периода (например, года, месяца, весны и т. д.),

взятая за достаточно длительный период (порядка 30—40 лет), носит название нормы стока для этого периода (например, года, месяца и т. д.).

Кроме средних значений стока по месяцам полезно делать выборки и выносить в особые таблицы крайние значения стока по каждому месяцу—максимальные и минимальные. Эти данные обычно сводятся в таблицы.

Наконец, полезно составлять отдельные таблицы для крайних годовых характеристик стока — годовых максимумов и минимумов, для периодов отсутствия и наличия льда, указывая также даты и уровни, отвечающие этим расходам.

В примечаниях следует указывать, не наблюдались ли еще в данном году резко выраженные максимумы, близкие к взятому, и т. п.

§ 135. Ошибки вычислений и точность их

1. Вычисленный сток обычно отвечает действительности только с той или иной степенью приближения.

Эта степень приближения зависит от таких факторов:

1) от точности измерений и вычислений расходов;
2) от точности построенной кривой расходов;
3) от точности измерений уровней;
4) от способов вычисления стока;
5) от длины периода вычисления.

Обычная точность измерений расходов (вертушками) оценивается в 3—5% для низких и средних вод и до 10—15% для половодий и паводков.

Возможные при измерениях и вычислениях ошибки и погрешности обусловливаются следующими основными причинами:

1) характером выбранного гидрометрического створа (косина струй, величины измеряемых скоростей, неровное дно и т. п.);

2) устройством измерительных приборов (разбивка на деления наметки или лота, точность и конструкция секундомера, показания счетчика глубин, конструкция вертушки, особенности иных приборов для измерения скоростей);

3) способом пользования измерительными приборами (установка вертушки или батометра в точках, продолжительность наблюдений в точках и др.);

4) обстановкой измерений (состояние погоды, ветер, изменчивость уровней);

5) точностью тарировки приборов и соответствием этой тарировки прибора условиям в момент работы;

6) способами вычисления расходов по измеренным скоростям, в частности, принятием за основу этих вычислений приближенной рабочей гипотезы о закономерном плавном характере распределения скоростей в потоке.

Взаимодействие всех этих факторов весьма сложно и не поддается теоретическому учету.

2. Точность построения кривой расхода зависит от таких факторов:

1) точности измерений расходов;
2) особенностей участка реки у створа (в отношении состояния русла и его изменчивости, наличия переменного подпора и других особых факторов);
3) способа построения (число измерений, пределы экстраполяции и интерполяции).

В общем случае точность эта также не может быть учтена теоретически (§ 119).

3. Точность измерений уровней может ощутительно отзываться на точности вычислений стока в случае весьма малых расходов.

Возможная ошибка ε в процентах расхода в этом случае может быть выражена так:

$$\varepsilon = \frac{(Q_2 - Q_1) \cdot x}{n \cdot Q_1} \cdot 100, \qquad (213)$$

где Q_2 и Q_1 — расходы, отвечающие двум последовательно взятым уровням воды с интервалом между последними в n единиц рейки; x — средняя ошибка отсчетов по рейке, выраженная в долях принятого деления рейки (например, 0,50).

4. Способы вычисления стока могут давать практически неприемлемые погрешности, если вычисления стока вести не по ежедневным уровням (§ 134), а по средним уровням для отдельных периодов (например, по среднемесячным уровням). Это происходит от того, что средние значения расходов для периодов, вычисленные из значений ежедневных расходов для этих последних, не совпадают обычно с теми значениями расходов, которые могут быть получены по кривым расходов из средних значений уровней для тех же периодов. В самом деле (фиг. 256), пусть среднее из двух значений уровней A и B будет C: $C=\frac{A+B}{2}$.

Среднему уровню C соответствует расход Q_C, на самом же деле средний расход из расходов Q_A и Q_B, соответствующих уровням A и B, будет равен Q_{AB}:

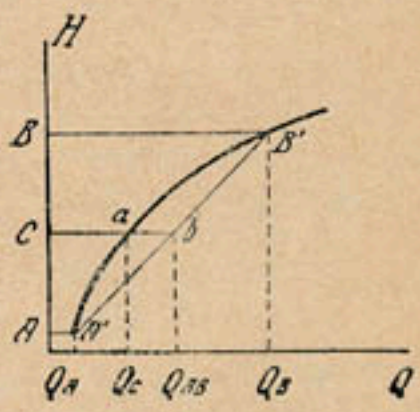
$$\frac{Q_A+Q_B}{2}=Q_{AB}.$$

Из фиг. 256 видно, что $Q_{AB}>Q_C$, причем равенство $Q_{AB}=Q_C$ может иметь место только в том частном случае, когда участок кривой расходов между A' и B' будет прямой линией.

Таким образом из обычного криволинейного вида кривых расходов вытекает, что расходы, вычисленные по среднеарифметическим уровням, всегда должны быть меньше, чем вычисленные как средние из значений расходов же, т. е. будут преуменьшены.

Однако при прямолинейном начертании кривой расходов, или весьма близком к таковому в пределах данной амплитуды уровней, — вычисление расходов по средним уровням не должно давать ошибок. В этом случае вычисления стока могут быть значительно упрощены, если имеются предварительно выведенные для отдельных периодов средние значения уровней (например, для пентад, декад и даже месяцев).

Критерием возможности применения средних уровней для вычислений средних значений расходов должна служить возможная ошибка в вычислениях, например, не свыше 1%.



Фиг. 256. Ошибки при вычислении расходов по средним уровням.

5. Длина периода вычислений непосредственно влияет на точность окончательного результата.

Как общее правило, чем длительнее период обработки, тем меньше должны сказываться возможные ошибки единичных (среднесуточных) значений стока, ибо тем более вероятно, что они взаимно компенсируются, если только отсутствуют условия, благоприятные для получения систематических ошибок одного знака.

6. Для определения средней вероятной ошибки M вычислений стока для периодов какой-либо длины T (например, месяц, сезон), полагая, что ошибки за каждые сутки равновероятны как положительные, так и отрицательные, можно воспользоваться следующей формулой:

$$M=\frac{\sigma}{\sqrt{r}}, \qquad (214)$$

где σ — средняя квадратичная ошибка по действительным измерениям, причем

$$\sigma=\sqrt{\frac{\sum(\Delta)^2}{n}}, \qquad (215)$$

где Δ — отклонения действительных измерений расходов от даваемых установленной связью расходов с уровнями (§ 119); n — число действительных измерений расходов, положенных в основу построения кривой расходов; r — число значений расходов (вычисляемых), из которых составляется средняя величина расхода за время T (например, 30, 28, 29, 31 суток — для месяца, 120 суток для сезона и т. д).

Такая оценка, однако, является в значительной степени условной, ибо в ряде случаев вычислению стока свойственны не только случайные ошибки (т. е. равновероятные со знаком плюс и минус), а систематические; например, преувеличение стока в одном ряду месяцев вследствие практически трудно улавливаемого образования отложений в русле или преуменьшение стока вследствие размывов, или преуменьшения при подъемах и т. д. В таких случаях отличие вычисленных значений стока от неизвестных нам действительных может и для длительных периодов характеризоваться цифрами, близкими к средним квадратичным ошибкам [формула (215)], выведенным по действительным измерениям.

Далее, точность вычислений стока по отдельным сезонам всегда не одинакова. Так, для зимних периодов она всегда меньше, чем для периодов с отсутствием льда, для весенних — меньше, чем для летних, и т. д.

При оценке точности среднегодовых значений стока поэтому следует исходить из оценки вероятных средних ошибок для каждого сезона в отдельности. Эта оценка может быть получена (в процентах) по формуле:

$$E_{год} = \frac{M_1 \cdot Q_1 \cdot T_1 + M_2 \cdot Q_2 \cdot T_2 + M_3 \cdot Q_3 \cdot T_3 + M_4 \cdot Q_4 \cdot T_4}{Q_1 T_1 + Q_2 T_2 + Q_3 T_3 + Q_4 T_4}, \qquad (216)$$

где M_i — средняя вероятная ошибка для каждого сезона или периода, выраженная в %; T_i — длительность каждого сезона или периода; Q_i — средний секундный расход для соответствующего периода T_i.

§ 136. Вычисление характеристик стока

Выше говорилось о вычислении стока в виде среднесекундных характеристик. Кроме такого способа выражения стока имеется ряд иных, в некоторых случаях более удобных. Таковыми являются следующие характеристики стока:

1) суммарный объем или кубатура стока;
2) высота стока;
3) модуль стока;
4) модульные коэфициенты;
5) коэфициенты стока.

1. Сток в кубатуре. Как указывалось (§ 134), для перехода от среднесекундных значений стока к суммарному количеству воды, протекшему за данный период времени через рассматриваемое живое сечение, или иначе к стоку в кубатуре, необходимо значение среднесекундного стока помножить на число секунд в данном периоде, например, для месяца в 30 дней — на $30 \cdot 24 \cdot 60 \cdot 60 = 30 \cdot 86\,400$ сек. и т. д.

ТАБЛИЦА 32

№	Число дней в периоде	Переводный сомножитель (число секунд)
1	1	86 400
2	5	432 000
3	10	864 00
4	28	2 419 200
5	29	2 505 600
6	30	2 592 000
7	31	2 678 400
8	365	31 536 000
9	366	31 622 400

Нижеследующая табличка дает наиболее часто встречающиеся переводные коэфициенты для перехода от среднесекундного стока к стоку в кубатуре.

Как видно из таблички, даже при малых значениях среднесекундных расходов сток в кубатуре выражается огромными цифрами; поэтому для сокращения письма применяют записи в тысячах кубических метров, в миллионах кубических метров или в кубических километрах (миллиарды $м^3$), т. е. подразумевая сомножители 10^3, 10^6 или 10^9.

Так, при среднегодовом секундном расходе в 1 $м^3/сек$ будем иметь сток в кубатуре: $31{,}622 \cdot 10^6$ $м^3$, т. е. 31,622 млн. $м^3$, или $0{,}0316224 \cdot 10^9$ $м^3$, т. е. 0,0316224 $км^3$.

2. Высота стока. Высота стока дает сток за известный период в виде высоты того равномерного слоя воды, которая получится, если весь наблюденный за известный промежуток времени T сток распределить по всей площади бассейна реки, лежащей выше пункта измерений; высота стока выражается всегда в миллиметрах.

Если имеем сток, выраженный в $м^3/сек$ — Q, то при площади бассейна F в $км^2$ и длительности периода в секундах в T, для перехода от Q в $м^3/сек$ к A в $мм$ имеем

$$A\ мм = \frac{Q\ м^3/сек \cdot T\ сек \cdot 10^3}{F\ км^2 \cdot 10^6} = \left[Q\ м^3/сек \frac{T\ сек}{F\ км^2\ 1\,000}\right] мм. \qquad (217)$$

Здесь в числителе: 10^3 — перевод линейных метров в миллиметры, в знаменателе 10^6 — перевод кв. километров в кв. метры; $\left(\frac{Q\ м^3/сек}{F\ км^2 \cdot 10^6}\right)$ дает линейные метры.

3. Модуль стока M дает секундные значения стока, средние для того или иного периода, выраженные в литрах и отнесенные к 1 $км^2$ площади бассейна [1].

Для перехода от Q $м^3/сек$ к M в $л/сек$ с 1 $км^2$ при площади бассейна в F $км^2$ имеем

$$M\ л/сек\ с\ 1\ км^2 = \frac{Q\ м^3/сек \cdot 1\,000}{F\ км^2}\ л/сек\ с\ 1\ км^2. \qquad (217а)$$

Модуль стока M весьма просто связан с высотой стока A, и от M легко перейти к A.

Как видно из сопоставления выражений для A и M, для того чтобы получить из M характеристику A, нужно M умножать на следующий коэфициент:

$$\frac{T}{1\,000 \cdot 1\,000}. \qquad (218)$$

Нетрудно видеть, что приведенные переводные коэфициенты при значениях M представляют собой значения стока в миллиметрах, отвечающие модулю стока величиной в 1 $л/сек$ с 1 $км^2$, соответственно для периодов с соответствующим числом дней.

Сток в $м^3/сек$ получается из значения M так:

$$Q\ м^3/сек = \frac{M \cdot F\ км^2}{1\,000}. \qquad (219)$$

4. Модульными коэфициентами K называют отношение величины стока для данного периода (например, год, сезон) Q_i к среднемноголетней величине стока за тот же период Q_0 (обе величины должны быть взяты в одинаковых измерениях), т. е.

$$K = \frac{Q_i}{Q_0} = \frac{A_i}{A_0} = \frac{M_i}{M_0}. \qquad (220)$$

Таким образом могут быть модульные коэфициенты годовые, сезонные, для годовых максимальных расходов, и т. д.

Отношения среднемесячных расходов q к норме среднегодового расхода Q_0 называют частными модульными коэфициентами k:

$$k = \frac{q}{Q_0}. \qquad (221)$$

5. Коэфициент стока α дает значения стока за известный период, выраженные в долях от количества выпавших в бассейне осадков за тот же период, или иначе для известного периода отношение количества стока к количеству выпавших осадков. Имея Q в $м^3/сек$, F в кв. километрах и высоту слоя осадков h в миллиметрах, получаем

$$\alpha = \frac{Q\ м^3/сек\ T\ сек \cdot 10^3}{F\ км^2\ 10^6 \cdot h\ мм} = \frac{Q\ м^3/сек\ T\ сек}{F\ км^2 \cdot h\ мм\ 1\,000} = \frac{A}{h}. \qquad (222)$$

Коэфициент стока, таким образом, является величиной отвлеченной, обычно меньшей единицы, и выражается обычно в виде десятичной дроби. Следует иметь

[1] Иногда в литературе встречается применение термина «модуль стока» к стоку, отнесенному к единице площади бассейна, но выраженному в $м^3/сек$ или в $л/сек$ с 1 $га$.

в виду, что для малых периодов — месяцев, сезонов и даже отдельных лет, коэфициенты стока являются характеристиками условными. В самом деле, сток, имеющий место в реке в течение данного месяца, сезона или года, обусловливается количеством осадков, выпавших не на протяжении именно этих периодов, а на протяжении более длительных периодов.

Фиг. 257. Кривые обеспеченности для Днепра у Лоцманской Каменки 1920—1923 гг.

§ 137. Обработки расходов

Основные обработки данных по стоку обычно сводятся к нахождению средних и крайних характеристик (для месяцев, сезонов, отдельных лет и для многолетия).

В ряде случаев производят специальные обработки расходов. К таковым можно отнести:

1) построение кривых обеспеченности ежедневных расходов;

2) вычисление характеристик обеспеченности для отдельных, генетически однородных, рядов расходов;

3) построение типовых графиков распределения расходов в году.

1. Построение кривых обеспеченности для суточных расходов выполняется совершенно аналогично таким же построениям для уровней (см. § 47), т. е. по предварительно вычисляемым частотам расходов (фиг. 257).

На основании такого рода обработок, выполненных для ряда отдельных лет, могут быть построены:

1) кривая обеспеченности для среднего года как средняя обеспеченность длинного ряда лет;

2) экстремальные кривые обеспеченности.

2. Для отдельных, генетически однородных, рядов (как, например, среднегодовые значения расходов, максимальные весенние расходы, минимальные летние расходы и др.), включающих несколько десятков членов, обеспеченность p вычисляется обычно по американской формуле Хазена такого вида:

$$p = \frac{m - 0{,}5}{n} \cdot 100, \qquad (223)$$

где n — число всех членов ряда; m — порядковое место данного члена в ряду, расположенном в убывающем порядке. Для пользования этой формулой необходимо, таким образом, расположить данный ряд в убывающем порядке. Из (223) следует

$$m = \frac{p \cdot n}{100} + 0{,}5. \qquad (224)$$

Таким образом, чтобы найти для какого-либо ряда наблюдений расход, отвечающий заданной обеспеченности p, нужно этот ряд расположить в убывающем порядке и воспользоваться формулой (224), которая дает место искомого расхода в убывающем ряду. Например, при 30-ти членах в ряду обеспеченности в 90% отвечает член:

$$m = \frac{90 \cdot 30}{100} + 0{,}5 = 27{,}5,$$

т. е. искомый расход найдется как среднее арифметическое из значений 27-го и 28-го членов убывающего ряда.

Характеристики обеспеченности, выражаемые процентами, иногда заменяются специальными терминами математической статистики: верхняя дециль (10% обеспеченности), верхняя квадрильяна (25%), медиана (50%), нижняя

квадрильяна (75%), нижняя дециль (90%). Иногда применяют иную систему наименований, в виде номера п е р ц е н т и л и (сотой части), например, десятая перцентиль (верхняя дециль), двадцатая перцентиль, двадцать пятая перцентиль (верхняя квадрильяна) и т. д.

Обеспеченность, выраженная в процентах, может быть также интерпретирована на словах так:

% обеспеченности	Интерпретация	% обеспеченности	Интерпретация
1	Один многоводн. год на 100 лет	75	Один маловодн. год на 4 года
3	» » » » 33 года	80	» » » » 5 лет
5	» » » » 20 лет	85	» » » » 6,7 »
10	» » » » 10 »	90	» » » » 10 »
15	» » » » 6,7 »	95	» » » » 20 »
20	» » » » 5 »	97	» » » » 33 года
25	» » » » 4 »	99	» » » » 100 лет
50	Один многоводный на один маловодный год		

3. Типовые графики распределения характерных расходов на протяжении года могут быть построены целиком аналогично графикам для уровней (§ 49).

§ 138. Перенос кривой расхода из одного сечения в другое

Весьма часто данные по построенным кривым расходов относятся к пунктам, не совпадающим с местом выполнения каких-либо гидротехнических сооружений.

Если между предполагаемым местом сооружений и пунктом, к которому относится кривая расходов, нет сколько-нибудь значительных притоков, то характеристики средних за какой-либо период (месяц, год) значений стока по этому последнему пункту обычно принимают за расчетные, без введения каких бы то ни было поправок. В противном случае следует выполнить пересчет значений стока, исходя из предварительно вычисленных модулей стока (§ 136) по пункту наблюдений.

Может также встретиться надобность в переносе кривой расходов от пункта наблюдений к пункту сооружений, т. е. в определении в и д а кривой расходов для этого последнего пункта.

Так как вид кривых расходов у тех или иных пунктов реки целиком определяется пропускной способностью русла у этих пунктов, то следует поступать так. Строят кривые связи с о о т в е т с т в е н н ы х у р о в н е й (§ 51) для пункта наблюдений и пункта, к которому желательно перенести кривую расходов. При отсутствии значительных притоков кривая связи получается обычно достаточно четкой. Принимая построенную кривую связи приближенно верной для иных фаз уровней, кроме тех, что положены в основу построения (т. е., например, для спадов и подъемов), расходы пункта наблюдений переносят во второй пункт по полученным соответственным уровням. При этом удобно пользоваться табл. 33.

ТАБЛИЦА 33

Уровни H_1 в пункте наблюдений	Расходы Q, отвечающие H_1	Уровни H_2 в пункте переноса, соответствующие уровням H_1 пункта наблюдений
1	2	3

По составлении такой таблицы построение кривой расхода у пункта переноса выполняется механическим откладыванием значений граф 2 и 3.

При наличии между обоими пунктами значительных притоков кривая связи получается ненадежной, так же как и результаты выполняемого по предыдущему переноса кривой расходов.

ГЛАВА XXIV

НАНОСЫ, ВЗВЕШЕННЫЕ И РАСТВОРЕННЫЕ

§ 139. Наносы и направление их изучения

1. Переносимые текучей водой частицы наносов являются не только результатом размывающей работы самой реки; значительное количество таких примесей к воде попадает в поток извне, в результате размыва склонов долины и поверхности бассейна. Продукты размыва передвигаются силой движущейся воды вниз по течению.

Общее количество твердых частиц и тел, проносимых рекой через данное живое сечение в единицу времени, называется твердым расходом. Твердый расход составляется из трех существенно отличных друг от друга категорий наносов:

1) наносы, влекомые по дну;
2) наносы, взвешенные в воде потока;
3) растворенные в воде примеси.

Твердые расходы могут быть выражены двумя способами: 1) в весовых единицах в единицу времени — в граммах или в килограммах в секунду; 2) в объемных единицах в единицу времени по объему отстоявшихся наносов, в $м^3/сек$. Названные характеристики также называют расходами наносов.

2. Причиной влечения наносов по дну является придонная скорость потока.

Так как дно состоит обычно из частиц различного диаметра, то при возрастании скоростей, например, при паводочных подъемах воды, сначала начинают двигаться самые мелкие частицы, потом — все более и более крупные.

Если частицы дна очень мелки, то движение их не ограничивается одним слоем поверхностных частиц, а захватывает целый слой дна. На дне образуется целый поток из полувзвешенных частиц, т. е. плывущей массы сильно разжиженного песка или ила.

Такие песчаные потоки часто имеют место в пониженных частях песчаных перекатов, давая иногда довольно значительный твердый расход. Этот случай является переходным к процессу переноса водой взвешенных в ней наносов.

3. Перенос водой частиц во взвешенном состоянии объясняется турбулентностью движения воды в текучих потоках, а именно наличием в каждой точке потока вертикальных составляющих. Каждая частица грунта, будучи брошена в воду, двигается сначала равноускоренно, а затем наступает момент, когда сила движущая и сила сопротивления сравниваются (ибо ускорение силы тяжести остается постоянным, а силы сопротивления возрастают со скоростью падения) и падение частицы становится равномерным. Этот момент для мелких частиц наступает очень быстро, через доли секунды. Скорость равномерного падения частиц в стоячей пресной воде при 15° С носит название гидравлического размера частицы; если этот гидравлический размер частицы обозначим через ϕ, то условие взвешивания напишется так:

$$v_n \geqslant \phi, \tag{225}$$

где v_n — вертикальная составляющая скорости в данной точке.

Вертикальные составляющие достигают максимума у дна и минимума (нуль) у поверхности; следовательно, взвешенные частицы должны располагаться

по своей крупности последовательно: ближе ко дну — самые крупные частицы, выше — размер частиц будет уменьшаться, и на некоторой высоте, там, где вертикальная составляющая будет меньше гидравлического размера самой мелкой частицы из несомых потоком, взвешивание будет отсутствовать. Правда, в действительности могут иметь место случаи, когда материал размыва не имеет всех размеров крупности, и поэтому максимальная крупность может быть значительно менее максимальной величины вертикальной составляющей, как это, например, имеет место на некоторых туркестанских реках; здесь скорости течения рек бывают очень значительными, а грунт ложа и берегов — очень мелкий песок; тогда строгая закономерность в распределении частиц по высоте отпадает, и по всей толще потока встречаются частицы одной и той же крупности.

Далее, вертикальные составляющие скоростей в отдельных точках все время меняются как по своей величине, так и по направлению; следовательно, каждая взвешенная твердая частица попеременно подвергается действию то восходящего, то нисходящего тока и то падает, то поднимается, следуя некоторой зигзагообразной траектории.

Таким образом, вообще говоря, распределение мутности по ширине и глубине реки должно стоять в тесной связи с распределением скоростей.

Часто наблюдается ж и л ь н о е распределение наносов в живом сечении, при котором главная масса их движется в виде достаточно резко очерченных жил.

Однако ясно выраженных закономерностей между скоростями течения и количеством взвешенных частиц не существует; это, повидимому, можно объяснить отчасти тем, что количество взвешенных наносов зависит также от того, к какому моменту в жизни реки относятся наблюдаемые скорости: к паводочным ли подъемам, сопровождаемым внесением в реку частиц песка и ила с прилегающих склонов бассейна, или к спадам этих подъемов и т. п.

4. Вопрос о содержании твердых веществ в воде реки играет существенную практическую роль при решении ряда воднохозяйственных проблем; к числу таковых можно отнести: 1) вопрос о заиливании водохранилищ или, вообще, водных пространств, образуемых путем перегораживания водных потоков плотинами; 2) вопросы орошения водами рек, связанные с отложениями взвешенных в воде веществ (вредных или полезных) на орошаемых площадях; 3) вопросы искусственного повышения поверхности прилегающих к рекам низин путем создания условий для постепенного откладывания на этих низинах твердых веществ, содержащихся в водах реки (так называемый кольматаж); 4) вопросы заиливания каналов и деформации естественных речных русел и др.

При исследовании твердого расхода в целях орошения водами реки обязательно производится химический, а также механический анализы взвешенных и растворенных веществ; в частности, выясняется относительное количество органических веществ, фосфорной кислоты, калия и кальция, составляющих важнейшие элементы удобрительного орошения.

5. О р г а н и з а ц и я и з у ч е н и я наносов весьма осложняется неизвестностью законов, управляющих перемещением наносов. По причинам, выясненным выше, не представляется возможным в общем случае установить (аналогично кривым расхода для изучения расходов) зависимости между количеством наносов и какой-либо легко наблюдаемой гидравлической характеристикой потока, как, например, уровнем.

Поэтому изучение количества наносов должно основываться на измерениях, выполняемых в натуре настолько часто, чтобы по ним можно было получить близкие к истине характеристики количеств наносов для всех периодов изучения.

Сроки и порядок измерений наносов в таких случаях варьируют в широких пределах в зависимости от целей изучения и характера изучаемого объекта.

Самое измерение количества взвешенных и растворенных наносов и их изучение производятся при помощи взятия проб воды особыми приборами, носящими название б а т о м е т р о в; для изучения количества наносов, перемещаемых по дну, вполне удовлетворительных способов пока не существует.

Кроме определения количества наносов изучение их имеет в виду обычно еще ряд таких вопросов: 1) выяснение механического состава наносов, т. е. количества частиц или фракций с различной крупностью; 2) выяснение химического состава наносов; 3) выяснение закономерностей в распределении наносов в живых сечениях и по длине отдельных участков; 4) выяснение деформаций русла.

Вопросы механического и химического состава разрешаются путем лабораторных исследований в соответствующих лабораториях по механическому анализу и химических.

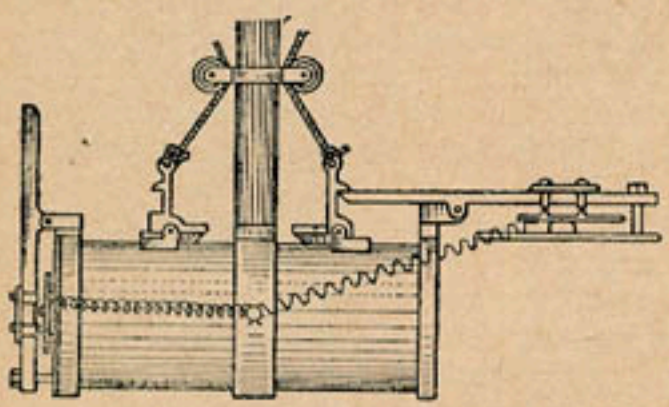
§ 140. Приборы для учета взвешенных и растворенных наносов

По конструкции приборы для учета наносов можно разделить на:

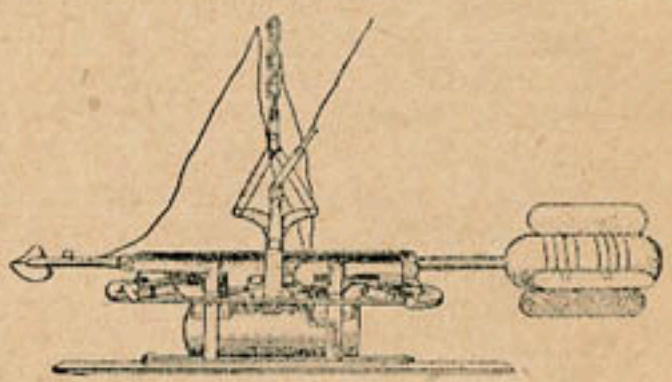
А. Батометры мгновенного наполнения, берущие пробу мгновенно.

Б. Батометры длительного наполнения.

А. Примером конструкций батометров мгновенного наполнения могут служить батометры инж. Жуковского и проф. Колле.

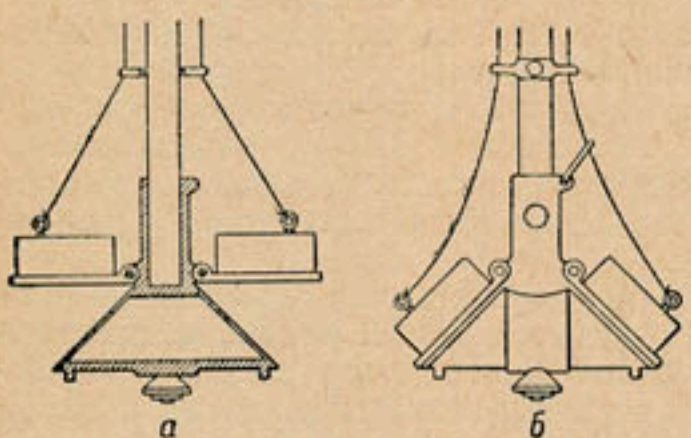


Фиг. 258. Батометр Жуковского.



Фиг. 259. Батометр Жуковского с вертушкой.

1. Батометр инж. Жуковского (фиг. 258) состоит из медного цилиндра диаметром в 10 *см* и высотой в 20 *см*. Опустив батометр на требуемую глубину (на штанге с делениями) с открытыми крышками так, чтобы продольная ось прибора была направлена по течению, дергают за шнур и таким образом освобождают рычаги крышек от задерживающих их «собачек»; после этого под действием пружин крышки, снабженные резиновыми прокладками, захлопываются и плотно закрывают цилиндр с обоих его концов; тогда цилиндр, взявший часть струи со всем ее содержимым, поднимается наружу.



Фиг. 260. Батометр Колле.

На фиг. 259 показан батометр Жуковского, соединенный с вертушкой и опускаемый на тросе; конструкция эта выполнена Н. Н. Жуковским для условий волжских измерений (глубины до 25 *м* и более).

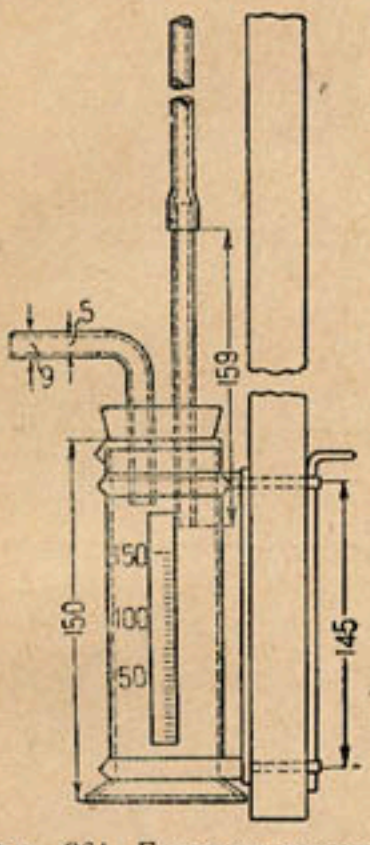
2. Батометр проф. Колле показан на фиг. 260 и по идее сходен с батометром Жуковского.

Б. Батометров длительного наполнения существует весьма много типов; некоторые из приборов этого вида допускают возможность одновременного учета также скоростей течения.

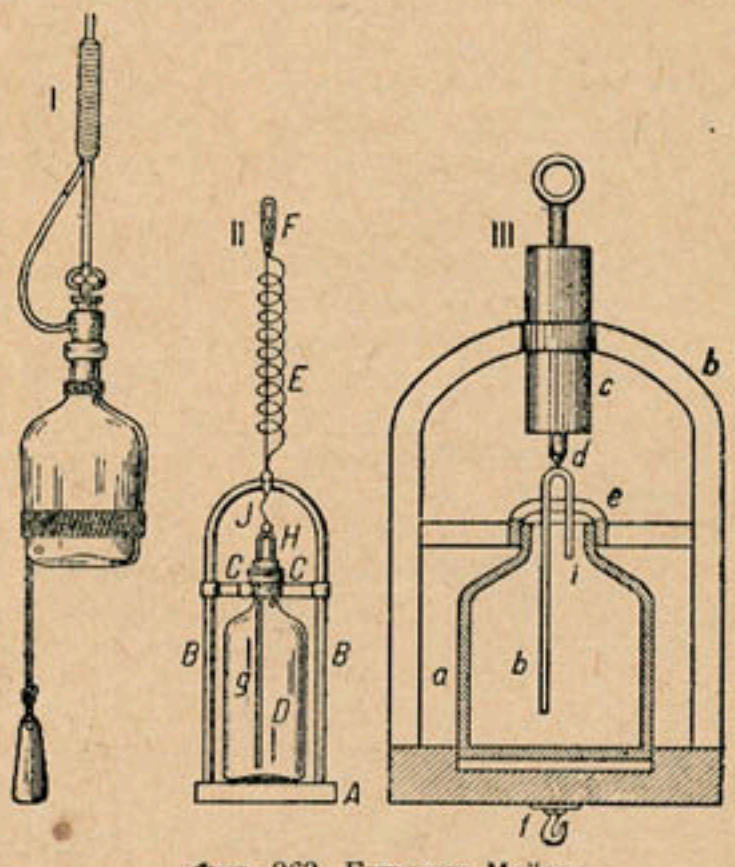
1. Простейшим прибором — батометром длительного наполнения можно считать обыкновенную бутылку, обязательно из белого стекла; для взятия проб с поверхности ее можно подвешивать на бечеве к шесту или наметке; для небольших глубин бутылку можно прикреплять на наметке, под углом около 30° к горизонту так, чтобы при помощи выведенного наверх шнура можно было выдергивать пробку на нужной глубине.

Обычная бутылка пригодна, однако, только для взятия проб в реках, имеющих значительную мутность, т. е. в случаях, когда можно ограничиться небольшими объемами проб.

2. Простым типом батометра длительного наполнения является также мензурка-батометр, показанная на фиг. 261, которую легко изготовить своими средствами. Основная часть — обыкновенная мензурка, т. е. стеклянный цилиндр, разделенный на кубические сантиметры; мензурка закупоривается плотной пробкой — резиновой или обычной, но на резиновой прокладке; через пробку пропускаются две трубки: одна из них — изогнутая — является приемником и должна иметь внутренний диаметр около 5 *мм*; вторая имеет назначением выводить из мензурки во время ее наполнения воздух и может быть установлена до



Фиг. 261. Батометр-мензурка.



Фиг. 262. Бутылки Майера.

того деления шкалы, до которого желают набрать пробу воды; на эту вторую трубку насаживается резиновая трубка такой длины, чтобы конец ее мог быть выведен наружу при требуемой глубине погружения прибора.

3. Весьма удобным типом батометра длительного наполнения при небольших глубинах являются батометры-тахиметры; прибор этот и способ его применения описаны в § 80.

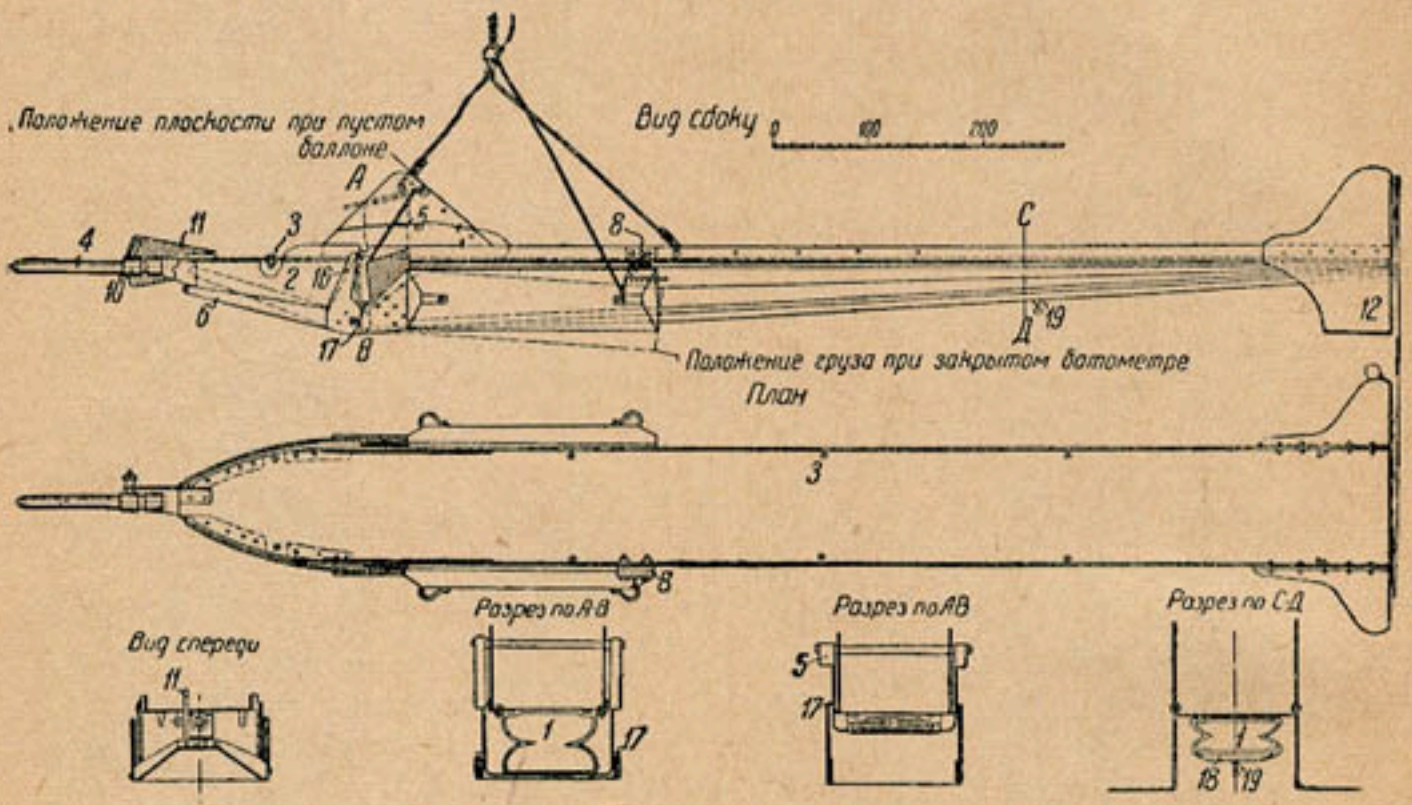
При применении батометров-тахиметров следует иметь в виду необходимость тщательного опорожнения их, чтобы в них не оставались попавшие внутрь примеси; для этого при опорожнении следует несколько раз взбалтывать содержимое батометра. Батометры-тахиметры удобны при одновременном применении нескольких штук для взятия проб сразу во всех намеченных точках вертикали.

4. Далее применяют так называемые бутылки Майера трех типов (фиг. 262). Прибор состоит из обычной бутылки с грузом в виде лота весом 3 — 5 *кг*. Бутылка закрыта обычной пробкой (тип I), или пробкой со снимающейся трубчатой дужкою *H* (тип II) или *d* (тип III). В бутылку типа I опущен распаренный пробковый шарик, диаметр которого несколько больше диаметра горлышка. На необходимой глубине бутылка открывается резким подергиванием бечевы (или тросика), на которой бутылка опускается в воду; вода вливается в бутылку до тех пор, пока в типе I внутренний пробковый шарик не поднимется к горлышку и не закупорит его, а в типе II и III — пока вода не подойдет к более короткой трубке *i* и не прекратит, таким образом, возможность выхода воздуха из бутылки.

Бутылки Майера удобны для работы на больших глубинах, не допускающих применения батометра-мензурки.

5. Для измерения количества наносов на глубоких реках у самого дна (а также и в других точках вертикали) можно пользоваться тросовым батометром Полякова — тип II.

Этот батометр (фиг. 263) состоит из двух основных частей: складного резинового баллона *1* с жесткими горизонтальными плоскостями и металлического кожуха *2*, внутри которого подвешивается баллон при помощи болтов *3*. Наполнение камеры баллона происходит через латунную никелированную трубку *4* внутренним диаметром 8 *мм*. Емкость баллона около 3 *л*. Особые наклонные плоскости *5* закреплены на шарнире *14*. Наклон плоскостей *5* находится в зависимо-



Фиг. 263. Батометр Б. В. Полякова, тип II.

сти от наполнения баллона *1*; чем больше объем баллона, тем ниже опускается плоскость *15*, прикрепленная к нижней плоскости баллона. Этим достигается воздействие на скорости наполнения батометра. Батометр опускается со сложенными плоскостями, т. е. в положении, когда его внутренний объем равен нулю.

Для того чтобы батометр не наполнялся до нужного момента, он закрывается особой дугой *6*, нажимающей на входное отверстие и оканчивающейся боковыми парными грузами, служащими противовесами.

Закрытие осуществляет также рычаг, прикрепленный к той же дуге, поддерживающий боковые наклонные плоскости *5* в положении, при котором нижняя плоскость баллона не может опуститься. Это достигается при помощи отгиба *17* плоскости *15*.

Противовесы в момент подъема и опускания батометра находятся в положении, показанном пунктиром; в это время они зажимают резиновую узкую часть баллона и поддерживают плоскости *5*, при помощи рычагов *16*, которые при пустом баллоне подходят под отгиб *17*, как показано пунктиром. Под нижней плоскостью баллона устроена особая полость *18*, наполняемая при помощи крана *19* воздухом для сообщения плавучести нижней части баллона, в целях облегчения наполнения баллона водой.

Открытие баллона происходит при приближении ко дну автоматически вследствие поворота грузов в момент касания дна; открытие может быть произведено также и на любой глубине путем натяжения шнура *7*. При этом грузы приходят в горизонтальное положение, и батометр открывается.

Момент открытия и закрытия батометра фиксируется электрическим звонком, который происходит вследствие замыкания тока в контактах. Контакт *8* укреплен на фибровой пластинке, снизу которой имеется медная пластинка *9*, соприкасающаяся с грузом.

Электрические провода заложены в шнуре *7*. Изменить высоту взятия пробы в придонном слое можно путем изменения наклона входной трубки *4*. Это производится при помощи установочного винта на секторе *11*. Верхняя плоскость кожуха снаружи может быть использована для дополнительного груза.

Прибор может применяться как для взятия проб в отдельных точках вертикали, так и для взятия интегральных проб.

§ 141. Приемы для учета взвешенных наносов

Учет взвешенных наносов обычно осуществляется следующими последовательными стадиями работы: 1) взятие проб; 2) первичная обработка проб; 3) определение по пробам характеристик мутности; 4) подсчет секундного расхода взвешенных наносов; 5) вычисления стока взвешенных наносов за те или иные периоды.

1. Место для взятия проб для учета взвешенных наносов должно быть выбрано на участке, свободном от местного случайного загрязнения или осветления, подмывов и разрушений берегов, водоворотных течений и других случайных явлений; лучше всего эти пробы брать в районе быстрого течения, типичного для большинства участков изучаемой реки. Необязательно, чтобы выбранный участок совпадал с местом расположения водомерного поста или гидрометрического створа.

2. Взятие проб может осуществляться: 1) в ряде точек ряда вертикалей живого сечения, причем: а) если все взятые таким образом пробы воды обрабатываются отдельно (в целях определения мутности для каждой точки измерения), то рассматриваемый способ носит название детального (многоточечного) способа учета наносов; б) если же взятые отдельные пробы сливаются в одну общую пробу, то такой способ учета наносов носит название суммарного; 2) пробы могут также браться только в одной характерной точке живого сечения потока; этот способ учета наносов можно назвать: а) одноточечным, если каждая проба обрабатывается отдельно, и б) приближенно-суммарным, если пробы за ряд дней сливаются вместе и обрабатываются в таком суммарном виде.

3. Количество взвешенных наносов в пробе воды, или мутность воды, может быть выражено различно; имеют распространение следующие приемы выражения мутности: а) по весу наносов S на объем пробы A, в миллиграммах на литр, или в граммах на куб. метр:

$$p_1 = \frac{S}{A} \text{ мг/л (или г/м}^3\text{)}; \tag{228}$$

б) в виде процентного соотношения веса наносов S_2 к весу соответствующей батометрической пробы воды A_2:

$$p_2 = \frac{S_2}{A_2} \cdot 100\%; \tag{227}$$

в) в виде процентного отношения теоретического объема беспустотной породы S_0 (определяемого как частное от деления веса наносов S_2 на удельный вес γ_1) к соответствующему объему воды A:

$$p_3 = \frac{S_2 : \gamma_1}{A} \cdot 100 = \frac{S_0}{A} \cdot 100\%; \tag{228}$$

г) в виде процентного отношения объема отстоявшегося мокрого наноса M к соответствующему батометрическому объему воды A:

$$p_4 = \frac{M}{A} \cdot 100\%. \tag{229}$$

Понятно, что последняя из приведенных характеристик может давать различные величины для наносов с различным объемным весом; отметим, что по данным Б. В. Полякова объемный вес наносов может колебаться в пределах от 0,03 до 1,25 $г/см^3$.

Соотношения между приведенными выше характеристиками таковы: $p_2 = \frac{1}{10} p_1$; $p_3 = 0{,}4p_2$ (если принять удельный вес $\gamma_1 = 2{,}50$).

Для перехода от значений p_1 к иным следует иметь в виду, что между объемом мокрого осадка в воде M, полученным при отстаивании, объемным весом W и мутностью p_1 существует следующее соотношение:

$$M\ см^3/м^3 = \frac{p_1\ г/м^3}{W г/см^3} \cdot \frac{3}{4} \qquad (230)$$

Соотношения между характеристиками p можно иллюстрировать следующей табличкой (при $\gamma_1 = 2{,}50$) (по Б. В. Полякову):

ТАБЛИЦА 34

№	p_1 $г/м^3$	p_2 %	p_3 %	p_4 % при W в $мг/см^3$				
				1 250	500	250	100	50
1	100	0,01	0,004	0,008	0,02	0,04	0,1	0,2
2	200	0,02	0,008	0,016	0,04	0,08	0,2	0,4
3	300	0,03	0,012	0,024	0,06	0,12	0,3	0,6
4	400	0,04	0,016	0,032	0,08	0,16	0,4	0,8
5	600	0,06	0,024	0,048	0,12	0,24	0,6	1,2
6	800	0,08	0,032	0,064	0,16	0,32	0,8	1,6
7	1 000	0,10	0,040	0,080	0,20	0,40	1,0	2,0

Отметим, что, в то время как объемный вес наносов колеблется в весьма широких пределах и в значительной степени зависит от продолжительности отстаивания, удельный вес наносов (состоящих из неорганических частиц) весьма близок к 2,50 — 2,65.

4. Первичная обработка проб состоит в отстаивании и фильтровании проб для определения их веса.

а) Отстаивание применяют обычно при суммарном способе учета наносов для определения их объема, а также для уточнений весовых определений мутности при мелких наносах, так как наносы с крупностью меньше 0,001 проходят через фильтр.

Отстаивание производят в хорошо промытых бутылях белого стекла. Дав воде в бутыли отстояться до прозрачности (приблизительно одну неделю), осторожно сливают ее, лучше при помощи резиновой трубки, как сифона. Иногда предварительно отливают $^1/_{20}$ объема всей воды в бутыли в отдельную чистую бутылку для производства потом лабораторного анализа по определению растворенных в воде веществ. Оставшийся в бутыли осадок и воду взбалтывают и переливают через воронку в обозначенную особым номером мензурку; деления этой мензурки должны быть не менее чем через 1 $см^3$; для более совершенного удаления из бутыли всех осадков бутыль вполаскивают предварительно отлитой из нее водой. Высота воды, влитой в мензурку вместе с осадками, записывается в особый журнал, где обозначаются дата переливания, номер мензурки и последующий ход опыта. Мензурка ставится затем в спокойное место на более или менее длительный срок, например, месяц, для отстаивания до окончательного уплотнения осадка; по истечении этого срока производится отсчет объема полученного осадка с точностью до $^1/_2$ $см^3$, а также отсчет высоты воды. Затем, после того как эти данные записаны, чистую воду из мензурки сливают, а осадок осторожно вытряхивают на кусок чистой пергаментной бумаги; далее обсохший осадок тщательно упаковывается для последующей отсылки в лабораторию для анализа. Следует иметь в виду, что во избежание грубых ошибок объем плотного осадка не должен быть малым; в противном случае нужно или увеличивать объем проб или сливать в мензурку осадки из нескольких бутылей.

б) Фильтрование пробы для ее взвешивания выполняют в случае весового учета мутности. Для фильтрования применяют бумажные фильтры. Вес наносов получают по разнице веса фильтра с наносами и пустого фильтра, поэтому каждый фильтр должен быть предварительно (в лаборатории) точно взвешен, с точностью до тысячных долей грамма, в воздушно-сухом состоянии (после просушки в сушильном шкафу при температуре 100—105°); на каждом фильтре обозначается его номер, а вес его записывается в особую ведомость.

Перед фильтрованием отстоявшаяся проба взмучивается тщательным взбалтыванием. Фильтр укладывают в воронку, предварительно смоченную чистой водой для более плотного прилегания фильтра к воронке. Удобно укреплять бутылку (или мензурку), из которой производится фильтрование, над воронкой в особом штативе, снабженном поддерживающими кольцами как для бутыли, так и для воронки. После окончания первого слива воды следует ополоснуть опорожненный сосуд небольшим количеством отфильтрованной воды и эту воду снова пропустить через фильтр. Если взятый фильтр при фильтровании прорвется, его нужно приложить к тому, которым он будет заменен.

При наличии мелких частиц полезно фильтрование произвести через фильтр дважды.

По окончании фильтрования фильтр прикрывают бумагой и оставляют на некоторое время на воронке в сухом месте для просушивания, после чего его складывают в пакетик с таким расчетом, чтобы профильтрованная муть оставалась бы внутри пакетика. В таком виде фильтры просушивают в сушильном шкафу (в целях предотвращения образования плесени), затем упаковывают их в восковку и отправляют в лабораторию для весового анализа. Взвешивание фильтров с наносами должно производиться при той же температуре и влажности, как и пустых фильтров.

в) Вместо фильтрования в некоторых случаях (например, на Волге) применяют центрифугирование проб на специальных центрифугах; этим путем, однако, мелкие глинистые и илистые частицы выделить нельзя.

г) Отметим, что в недавнее время К. Свиташевым предложено применять пикнометр (мерную колбу) емкостью в 250 $см^3$ для определения в полевой обстановке мутности воды, содержащей большое количество наносов. Для этого нужно взвесить на точных весах пикнометр с пробою (величина C) и тот же пикнометр с чистой водой, слитой из взятой пробы после 1—2 дней ее отстаивания (величина B).

Весовое количество наносов p тогда определится так:

$$p = \frac{\gamma_1 (C - B)}{\gamma_1 - 1}, \tag{231}$$

где γ_1 — удельный вес наносов, колеблющийся для одного района обычно в незначительных пределах и потому подлежащий определению лишь время от времени по формуле

$$\gamma_1 = \frac{p}{p + B - C}. \tag{232}$$

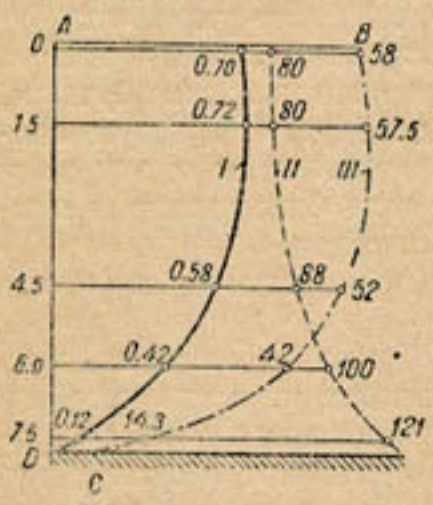
Указанный способ, требуя затраты небольшого времени, по опытам на р. Сулак, дает вполне приемлемые результаты.

§ 142. Детальный учет

1. Детальный учет дает наиболее полные ответы на ряд вопросов по изучению условий движения и распределения наносов по живому сечению. Точность получаемых результатов зависит прежде всего от частоты производства измерений. По инструкции Среднеазиатского опытно-исследовательского института водного хозяйства следует производить учет наносов летом не реже двух раз в месяц, а зимой — 1 раз в 2 месяца, и во всяком случае в год — не менее четырех раз: до весеннего паводка, в начале и в конце паводка и осенью.

2. Число вертикалей, на которых берутся пробы, зависит от ширины реки, характера русла и колебаний мутности.

Можно придерживаться следующих приближенных правил: 1) для больших рек со спокойным течением и малой мутностью брать не менее 10 вертикалей; 2) для равнинных рек с большими скоростями и большими мутностями — 3—5 вертикалей в зависимости от ширины реки; 3) для горных рек — 3 вертикали. Лучше же всего в начале организации систематических измерений взвешенных наносов потребное число вертикалей определить путем первоначального более частого их размещения и последующих пробных подсчетов при исключении части этих вертикалей. Кроме этого желательно взятие дополнительных проб еще и у берегов и в одной постоянной точке для целей интерполяционных вычислений; в этой последней точке рекомендуется брать пробы ежедневно.



Фиг. 264. Эпюры скоростей и мутности (*I* — скорость, *II* — мутность, *III* — расход мути).

3. На каждой вертикали пробы берутся в тех же точках, на которых измеряются скорости, т. е. в пяти точках (как в основном методе определения скоростей) — на 0,2, 0,6 и 0,8 глубины от поверхности, у дна и у поверхности. Нередко берут пробы только в трех точках: на $0{,}2H$, $0{,}6H$ и $0{,}8H$, или же у дна, у поверхности и на половине глубины; средняя мутность по таким точкам находится как среднее арифметическое. На каждой точке сейчас же после забора пробы измеряется скорость течения — вертушкой или другим прибором. Количество воды в пробе должно быть не менее 500 *см*^{3}; следует иметь в виду, что для возможности определения механического состава наносов необходимо, чтобы вес наносов в пробе был не менее 0,1 *г*. Каждая проба сливается в отдельную бутылку, закупоривается и снабжается ярлыком с указанием названия реки, поста, даты, номера полевой книжки для измерения расходов, номера вертушки, глубины взятия пробы, номера бутылки и пробы; бутылки с пробами для данного живого сечения при подробной описи должны быть пересланы в лабораторию для анализа возможно скорее. Форма записи дана ниже в табл. 34а.

В лаборатории по каждой пробе анализом определяют количество примесей в граммах на 1 *л*, т. е. относительная мутность p, которую для дальнейших подсчетов выражают в граммах на куб. метры P.

4. Если скорость течения через ту точку, в которой взята проба, обозначить через v *м/сек*, то очевидно, что для элементарной площадки единичный расход наносов P_0 (или «наносность») выразится так:

$$P_0 \text{ г/сек м}^2 = p \cdot v \cdot 1\,000. \qquad (233)$$

Далее вычисления можно вести различными путями.

а) Вычислив наносность P_0 для всех точек вертикали, можно построить кривую распределения расходов мути на вертикали (фиг. 264). Для этого по оси ординат откладывают глубины, а по оси абсцисс — соответствующие этим глубинам величины P_0. Площадь полученного графика расходов наносов выразит собой элементарный расход наносов по вертикали P_i, средний единичный расход наносов (или проще средняя наносность) для вертикали p_i может быть определен как частное от деления всей площади на глубину вертикали.

б) Можно также применять другой, приближенный, метод; для этого по оси абсцисс откладываются не единичные расходы наносов, а относительная мутность P, а по оси ординат, как и прежде, — глубины (фиг. 264). Из этого чертежа легко получается средняя единичная относительная мутность $P_{ср}$ как частное от деления площади диаграммы на глубину вертикали.

Умножив найденное $P_{ср}$ на площадь графика скоростей ω, т. е. на элементарный расход, получим элементарный расход наносов через данную вертикаль P_i.

ТАБЛИЦА 34а

Журнал работ по учету наносов (весовым способом)

№ по пор.	№ вертикалей	Расст. от уреза воды $\frac{\text{прав.}}{\text{лев.}}$ берега и между вертик. в м	Глубины вертикалей h в м	Глубины взятия пробы и измер. скоростей в м	Скорость в м/сек: Скорость в точке взятия пробы V м/сек	Скорость в м/сек: Ср. скорость на вертикали $V_{ср}$ м/сек	Элем. расход воды $V_{ср}\,h$ м²/сек	№ бутылок	Мутность: Объем взятой пробы воды в см³	Мутность: Количество мути в пробе в граммах	Мутность: Относительная мутность p в г/м³ ($=$ кг/м³)	Мутность: Средняя мутность вертик. $P_{ср}$ кг/м³	Мутность: Глубина, соответств. средн. мутности на вертик., в долях h	Мутность: Элем. расход. наносов в точке $P_0 = p\,V$ кг/м² сек	Расход наносов через вертикаль: Точно: Элем. расх. наносов через вертикаль P_t кг/м сек	Расход наносов через вертикаль: Точно: Ср. элем. расх. наносов по вертик. $\frac{P_t}{h}$ кг/м² сек	Расход наносов через вертикаль: Приближ.: Элем. расх. наносов через вертикаль $p_{ср}\,V\,h$ кг/м сек	Примечания

в) Наконец, среднюю единичную относительную мутность на вертикали можно вычислить аналитически — при пяти точках — по формуле

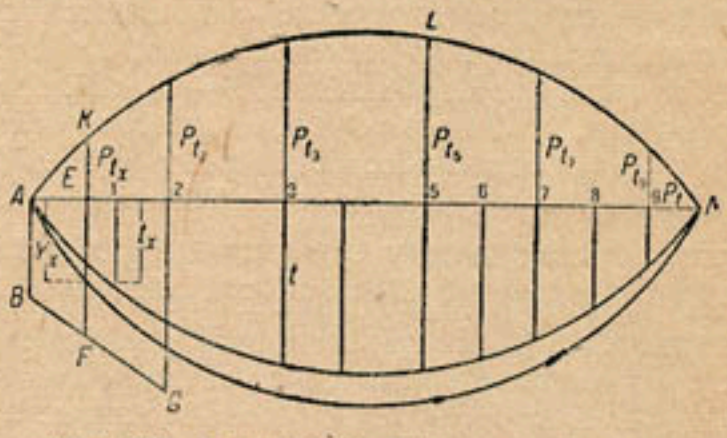
$$P_{ед} = 0{,}1\,(P_{пов} + 3P_{0{,}2H} + 3P_{0{,}6H} + 2P_{0{,}8H} + P_{дно}). \qquad (234)$$

При трех точках $P_{ед}$ может быть получена приближенно как среднее арифметическое.

г) Дальнейшие вычисления расхода наносов через все живое сечение $P_ж$ — удобно производить графически, аналогично вычислению расходов по Гарляхеру. На графике живого сечения (фиг. 265) на соответствующих вертикалях, вверх от линии горизонта воды, откладывают величины P в избранном масштабе.

Через все полученные точки верхних ординат проводится плавная кривая, которая является, таким образом, кривой расхода наносов в живом сечении.

Площадь, ограниченная кривой расхода наносов и линией уровня, выразит расход наносов $P_ж$ через живое сечение в граммах в секунду.



Фиг. 265. Вычисление расхода наносов.

д) можно вести вычисление наносов аналитическим путем. Именно, аналогично вычислению расходов воды можно пользоваться следующими формулами:

$$P_ж = \sum p_ж = \sum b_i \cdot \frac{P'_i + P''_i}{2} \qquad (235)$$

или же

$$P_ж = \sum p_ж = \frac{H' + H''}{2} \cdot b \cdot \frac{P'_{ед}v'_m + P''_{ед}v''_m}{2}; \qquad (236)$$

$$P_ж = \sum q \cdot \frac{P'_{ед} + P''_{ед}}{2}. \qquad (237)$$

В приведенных выражениях верхние индексы относятся к последовательно взятым смежным вертикалям; в выражении (237) буквой q обозначен частичный расход между двумя смежными вертикалями.

§ 143. Суммарный и одноточечный учет

1. Как указывалось, суммарный учет может применяться двояко: 1) при взятии проб только в одной точке, для систематического изучения суммарных харак-

теристик мутности для более или менее длительных периодов (приближенно-суммарный способ); 2) при взятии проб со всего живого сечения реки в разных точках ряда вертикалей — для суммарной характеристики мутности всего потока для взятого момента.

2. В первом случае точка взятия проб должна отвечать месту предполагаемого среднего насыщения реки наносами.

Работами ВОЦНИИВТ[1] и других исследователей (ГГИ) установлено, что точка с мутностью, равной средней мутности потока, не имеет постоянного положения в речном потоке; в большинстве случаев эта точка лежит на вертикали, расположенной на стрежне реки, примерно на 0,5 ее глубины. В связи с этим количество взвешенных наносов, определяемое по измерениям в одной точке приближенно — суммарным способом, может давать более близкие к действительности результаты только в суммарных выводах за достаточно продолжительные периоды (например, год), поскольку в этих случаях можно ожидать взаимной компенсации отдельных отклонений для более коротких периодов наблюдений.

3. Для набора ежедневной пробы удобно применять наиболее простые типы батометров, например, бутылку, батометр-мензурку. Можно также набирать пробы при помощи стакана, если это возможно по условиям глубины; при этом зачерпывание и выливание должны производиться сразу и быстро, без расплескивания, во избежание внесения ошибок от осаждения крупных частиц наносов.

Объем ежедневной пробы может назначаться или постоянным — не менее 250 $см^3$, или пропорциональным наличному расходу.

Первый способ применяют, когда нет кривой расхода воды; способ этот в туркестанской практике обозначается словом «канал». Инструкция Среднеазиатского опытно-исследовательского института водного хозяйства рекомендует брать пробы объемом 500—750 $см^3$, применяя батометр Жуковского, с таким расчетом, чтобы объем уплотнившегося осадка за декаду был не менее 5 $см^3$.

При втором способе на каждые 10 $м^3/сек$ расхода воды берется всегда одно и то же число кубических сантиметров — K; величина K устанавливается такой, чтобы в низкую воду при расходе Q_0 объем пробы был равен 250 $см^3$, т. е. $K = \frac{250}{Q_0}$; для пользования наблюдателю составляется таблица, в которой вычисляются нужные величины объемов проб в зависимости от показаний рейки. Способ этот в среднеазиатской практике условно обозначается словом «река».

4. При обоих этих способах взятые пробы через некоторые установленные сроки (в среднеазиатской практике с 1-го, 11-го и 21-го числа каждого месяца) сливаются в одну общую чисто вымытую бутыль (лучше всего — $^1/_4$ ведра); на дно бутыли предварительно нужно капнуть 20 капель формалина для исключения возможности гнилостных процессов. При заполнении бутыли начинают новую; в начале же каждой декады обязательно всегда начинать новую бутыль, хотя бы предыдущая не была наполнена, чтобы пробы двух соседних декад не смешивались.

5. Бутыли, употребляемые для сливания проб, предварительно точно калибруются. Для этого на бутыли с обеих сторон наклеиваются отвесно полоски миллиметровой бумаги так, чтобы нуль их совпадал с низом донышка. Десятки, или каждые двадцать сантиметров, полезно отмечать на бутыли чертой для обеспечения правильного возобновления положения полосок в случае их случайного отклеивания. Затем ставят бутыль на горизонтальную площадку и, постепенно приливая мензуркой точно по 250 $см^3$, записывают соответствующие деления по обеим полоскам миллиметровой бумаги в особой калибровочной таблице; таблице дается номер, соответствующий таковому же, обозначаемому на бутыли.

При выливании проб в бутыли, ведут журнал наблюдений, который может иметь такую форму:

[1] Волжское отделение Центрального научно-исследовательского института водного транспорта.

ТАБЛИЦА 35

№ опыта	Время собирания пробы			Вода						Наносы				Примечания
	месяц	число		Приблизительный объем пробы в $см^3$	№ бутыли	Высота воды в бутыли в *мм*			Точный объем пробы в $см^3$	№ мензурки	Объем уплотнившегося осадка в $см^3$	Относительное содержание наноса в % $P_4 = \frac{M}{A} \cdot 100$		
		от	до			по первой шкале	по второй шкале	среднее						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

В графе 5-й (приблизительный объем пробы) записывается величина этого объема по показанию батометра.

Точный объем пробы (графа 10-я) определяется по калибровочной таблице.

После отстаивания пробы в бутыли в течение 6—10 дней воду сверху сливают, остаток взбалтывают и переливают в мензурку или в другую бутыль.

6. Дальнейшая обработка пробы выполняется в зависимости от желаемого результата получить характеристику мутности по объему или по весу наносов (§ 141).

Если количество наносов определяется в виде процента по объему P_4, то в дальнейших вычислениях объем пронесенных рекой наносов S_4 определяется по объему стока воды $Q_в$, за период, отвечающий периоду наполнения данной бутыли:

$$S_4 = \frac{P_4 \cdot Q_в}{100}.$$

Если же твердый осадок определен взвешиванием, то полученный вес p относят к весу объема воды в бутыли A_2 и далее ведут вычисления по предыдущему. Можно также отнести вес p к объему воды A_6. Умножив эту величину на величину стока $Q_в$, получим суммарный вес наносов за рассматриваемый период.

7. При суммарном учете мутности всего потока по пробам, взятым в различных точках живого сечения, объем отдельных проб составляет обычно от 0,1 до 0,2 *л* в зависимости от числа точек.

Все пробы сливаются в одну бутыль и после отстаивания определяют по предыдущему вес или объем наносов.

8. Одноточечный учет, не рассчитанный на суммарную обработку проб, выполняется у водомерных постов в целях получения характеристик мутности, которые в последующем должны быть связаны с характеристиками детальных измерений мутности, для облегчения подсчетов стока твердых расходов в промежутках между датами этих детальных измерений.

В этих случаях точки взятия проб выбираются обычно на поверхности воды поблизости от берега; пробы проще всего брать при помощи бутылки, подвешенной на шесте.

Взятые пробы обрабатываются фильтрацией для последующего получения характеристик мутности в весовом выражении.

§ 144. Вычисления стока взвешенных наносов

Детальным или суммарным способом могут быть получены (§ 142 и § 143) секундные расходы взвешенных наносов $P_в$ в *г/сек* или *кг/сек*; по приближенно суммарному способу получают суммарный объем стока взвешенных наносов S_4 за данный период наблюдений (например, декаду) в $м^3$ или в *кг*.

Дальнейшие вычисления стока взвешенных наносов рассмотрим применительно к таким двум главным случаям:

1) интерполяционные вычисления для периодов, по которым имеются спорадические измерения секундных твердых расходов;

2) экстраполяционные вычисления стока наносов за периоды, для которых измерений не производилось.

В качестве особого случая рассмотрим случай наличия лишь разрозненных и неполных данных.

1. Для вычисления стока взвешенных наносов при наличии секундных твердых расходов можно различать два главных случая: а) наряду со спорадическими измерениями секундных твердых расходов имеются ежедневные одноточечные определения мутности; б) таковые отсутствуют.

а) Для случая наличия ежедневных одноточечных определений мутности следует прежде всего построить зависимость между мутностью всего профиля $P_м$ и мутностью, измеренной в одной точке на водомерном посту p_0. Эта связь имеет обычно линейный характер:

$$P_м = a \cdot p_0 \quad \text{или} \quad P_м = ap_0 + b. \tag{238}$$

По данным Б. А. Аполлова, величины коэфициентов a для ряда рек оказались такими: Волга — 1,18; Кура — 1,16—1,12; Рион — 1,12; Урал — 1,14 (одноточечные пробы брались во всех случаях с поверхности воды бутылкой, привязанной к шесту длиной 3—4 *м*).

По приведенным соотношениям можно высчитать ежедневную среднюю мутность, а отсюда получить график ежедневного твердого расхода. По площади этого последнего графика можно вычислить сезонные или годовые расходы наносов. Для простоты вычислений удобно для таких случаев выражать расход наносов в *кг/сек* или *т/сек*: $P_г$ *г/сек* $= 0{,}001\, P_г$ *кг/сек* $= 0{,}000001\, P_г$ *т/сек*.

б) Если же ежедневные одноточечные измерения мутности отсутствуют, то для периода наблюдений за мутностью последнюю можно подсчитать только приближенно по построенному хронологическому графику измеренных величин или же обратиться к приемам, указанным ниже в п. 3.

2. Для вычисления стока наносов за периоды, когда измерений наносов совсем не производилось, следует пытаться построить зависимость расходов наносов от расходов или уровней воды:

$$P_н = f(Q) \text{ или } P_н = f(H). \tag{239}$$

Для равнинных рек обычно максимумы мутности имеют место ранее максимумов расходов (или уровней); для горных рек оба этих максимума практически почти совпадают.

Поэтому по Б. А. Аполлову для равнинных рек целесообразно сдвигать графики расходов наносов по отношению к графикам расходов воды (или уровней), причем и те и другие величины для получения более четкой зависимости целесообразно предварительно осреднять по декадам или по месяцам.

Б. А. Аполлов при этом рекомендует искать не непосредственную связь между расходом воды и расходом наносов, а предварительно выражать месячные (или декадные) колебания жидкого и твердого стока в процентах от их амплитуды; связь между этими последними величинами по построениям Б. А. Аполлова обычно оказывается более четкой.

Пример подобных исчислений для Волги у Астрахани (1924—1925 гг.) приведен ниже в табл. 36.

Для построения зависимости $P_1 = f(Q_1)$ сдвижка графиков Q_1 и P_1 была сделана на 1 мес. Полученная зависимость дана на фиг. 266 (отдельные ветви — для спадов и подъемов).

Для горных рек могут быть построены зависимости непосредственно между мутностью и расходами воды; пример такой зависимости для реки Рион у Кутаиси дан (по Б. А. Аполлову) на фиг. 267; для исчислений твердых расходов за длительные периоды возможно такого рода зависимости заменять одной средней кривой.

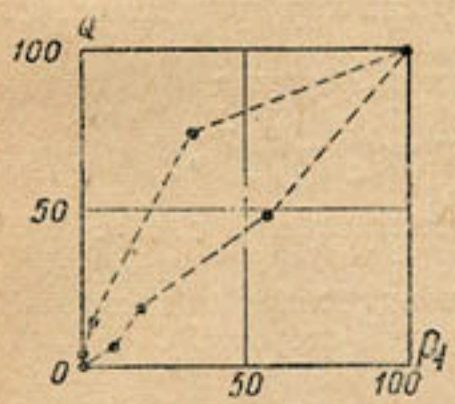
3. В случае наличия только разрозненных и неполных данных по измерениям мутности для вычисления твердого стока возможно два таких пути:

а) следует осреднить имеющиеся наблюдения для характерных моментов режима реки: подъемы, спады, межень, зима; тогда приближенные расчетные

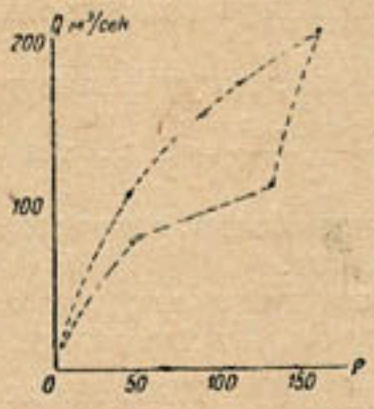
ТАБЛИЦА 36

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Q $м^3/сек$ в тыс. .	1,5	1,7	1,7	2,6	7,5	9,6	5,2	3,0	1,9
P тыс. $т$ за мес. .	20	20	90	1 060	3 200	1 840	500	320	60
Q_1 % . . .	0	2	2	14	74	100	46	18	5
P_1 % . . .	0	0	2	33	100	57	18	10	1

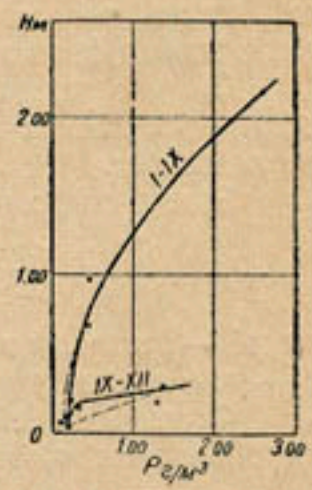
зависимости можно нередко установить отдельно для каждой из указанных естественных фаз режима реки, как это, например, показано на фиг. 268 для Куры у Сальяны (1917—1918 гг.) (по Б. А. Аполлову).



Фиг. 266. Связь $P_1 = f(Q_1)$ для р. Волги у Астрахани по Б. А. Аполлову.



Фиг. 267. Связь $P_1 = f(Q_1)$ для р. Рион у Кутаиси по Б. А. Аполлову.



Фиг. 268. Расчетная зависимость $P = f(H)$ для р. Куры у Сальяны по Б. А. Аполлову.

б) Можно пытаться установить связь между величинами мутности и осадками в бассейне, как непосредственной первопричиной мутности. Такого рода связь довольно успешно была построена, например, Б. А. Аполловым для Дзорагет, причем в расчет была введена интенсивность выпадения осадков по двум метеорологическим станциям (в подекадном разрезе).

§ 145. Учет растворенных наносов

Растворенные в воде вещества определяются по взятым пробам при помощи химического анализа, путем их выпаривания, и методами объемнаго анализа. Пробы для химического анилиза при регулярных наблюдениях должны браться ежедневно на участке реки, отвечающем тем же условиям, что и для взятия проб взвешенных в воде наносов (§ 141); принадлежности для взятия проб должны быть те же, что и для проб по взвешенным наносам.

Взятые пробы переливаются в чистые бутылки, в которые предварительно вливается 8—10 капель формалина. По инструкции Среднеазиатского инсти-

тута водного хозяйства один раз в месяц берется специальная проба на окисляемость; эта проба переливается в специальную бутылку с добавлением туда серной кислоты. Бутылки для проб на окисляемость отличают от других наклейкой на них условленного цвета ярлыков, например, красных. Бутылки с пробами тщательно закупориваются.

Объем ежедневных проб для химического анализа по инструкции Среднеазиатского института водного хозяйства берется в 100 $см^3$.

По инструкции того же института в конце каждого месяца все взятые пробы на определение растворенных в воде веществ сливаются в общие бутылки, вода из которых и поступает в анализ.

Объем проб, которые берутся в порядке нерегулярных наблюдений, должен быть около 1—2 $л$ (2 боржомные бутылки). Объем проб на окисляемость берется около 500 $см^3$.

При взятии проб и заполнении ими бутылок ведутся соответственный журнал и опись; на ярлыках бутылок отмечаются номер бутылки, название реки и поста, дата и подпись наблюдателя.

Результаты химического анализа растворенных веществ обычно выражают в миллиграммах на 1 $л$ воды. Обычно выделяют такие элементы: CaO, MgO, Al_2O_3, F_2O_3, P_2O_5, Cl, SiO_3, SiO_2, и ряд иных.

Общее количество растворенных веществ, проносимых рекой за какой-либо период, может быть определено, исходя из величины суммарного стока за этот период.

§ 146. Изучение распределения и перемещения наносов

Детальный метод учета наносов помимо достаточно точного определения количества наносов позволяет также ставить изучение распределения наносов как в живом сечении, так и по длине изучаемого участка.

Обычно такого рода изучения сопровождаются выявлением характеристик единичных живых сил, по которым может быть получена характеристика мощности потока

Единичные живые силы s могут быть подсчитаны по формуле:

$$s = \frac{mv^2}{2} = \frac{v \cdot 1000 \cdot v^2}{2g} = 51v^2, \text{ так как } m = \frac{p'}{g} = \frac{v \cdot \gamma}{g},$$

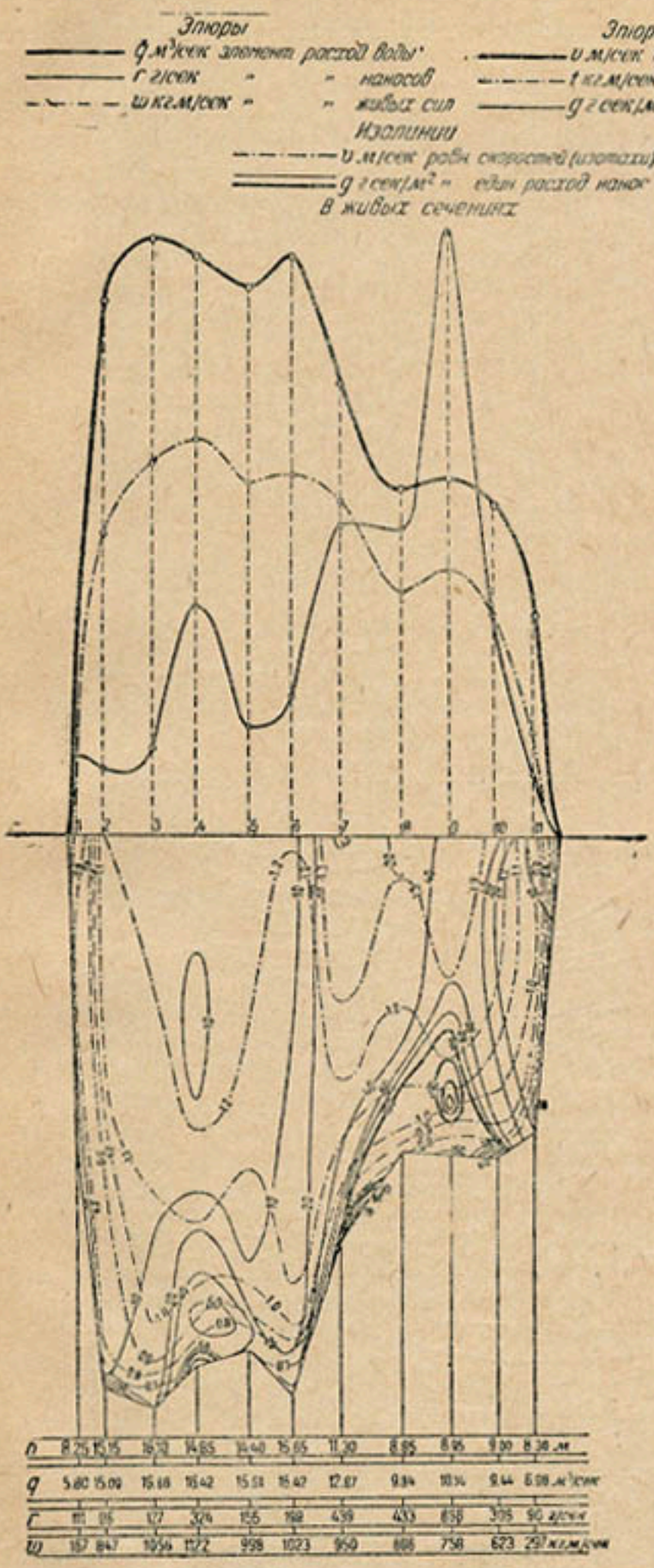
где p' — вес воды в единице объема, отвечающей скорости течения v, т. е. 1000; g — ускорение силы тяжести.

Форма записей при такого рода исследованиях может иметь вид по табл. 37 (в дополнение к обычному бланку для записей измерений скоростей).

ТАБЛИЦА 37

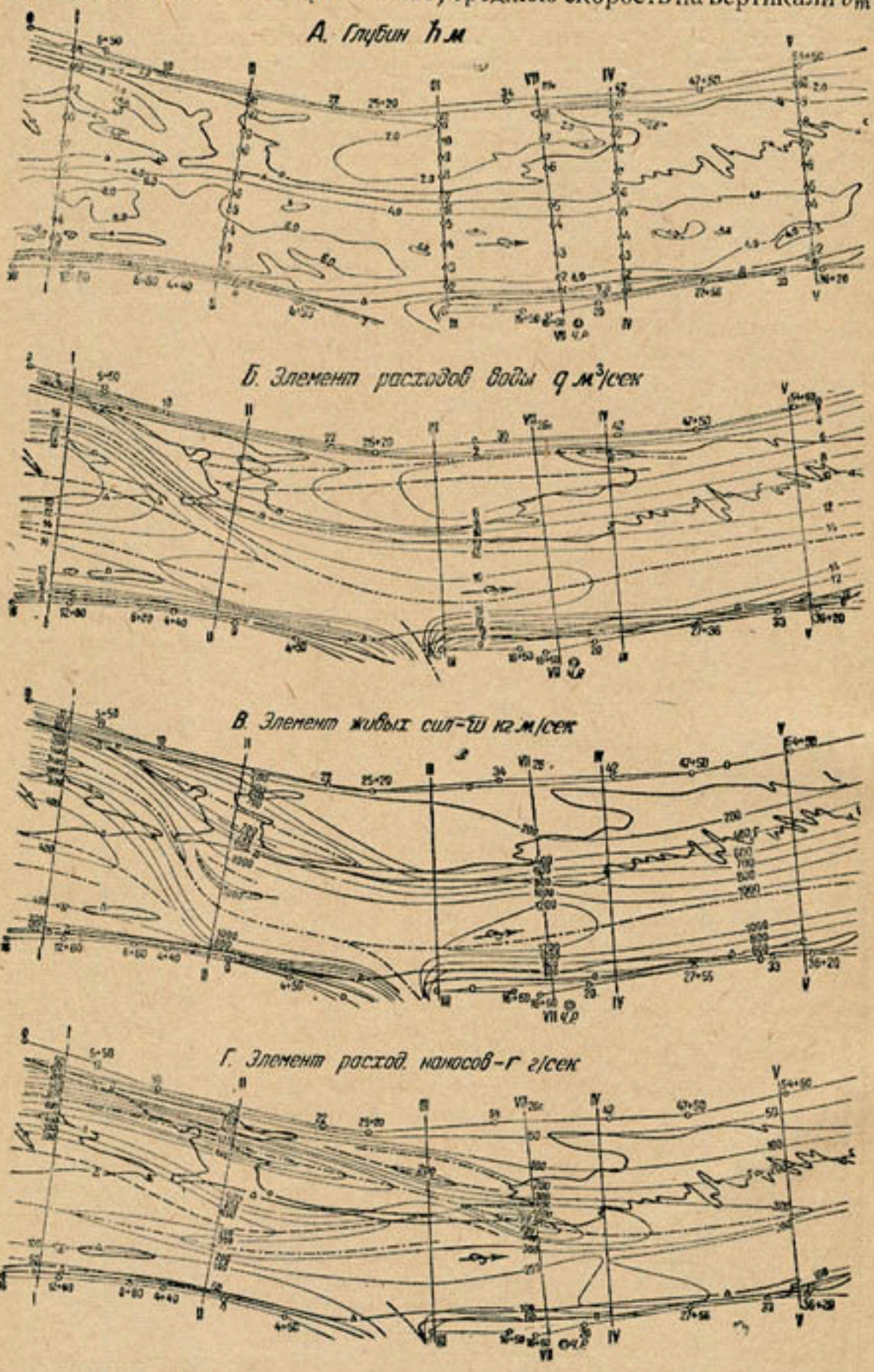
Скорость $м/сек$ v	Единичная живая сила $s = \frac{mv^2}{2} = 51v^3$ $\frac{кг \cdot м}{сек \cdot м^2}$	Батометрическая проба		Единичный расход наносов $P_0 = \frac{p \cdot v}{l \cdot \omega} \cdot \frac{г}{сек/м^2}$; ($l$ — длина батометра, ω — площадь поперечного сечения его)	Скорость на оси батометра
		N	Вес в $г$		

По измерениям указанного характера для отдельных точек на вертикалях могут быть построены графики распределения v, s и P_0 по вертикалям. Отсюда могут быть вычислены: 1) элементарные расходы воды q $м^2/сек$ путем планиметрирования годографа скоростей; 2) элементарные живые силы w $кгм^2/сек$ $м^2$ путем планиметрирования графика распределения живых сил по вертикали; 3) элементарные расходы наносов r $г/сек$ $м$ путем планиметрирования графиков распределения наносов на вертикалях (или P_t по прежним обозначениям).



Фиг. 269. Изолинии единичных расходов наносов в живом сечении и распределение их по вертикалям.

Разделяя полученные по предыдущему величины на глубину вертикали h, получим соответственно для вертикали: 1) среднюю скорость на вертикали v_m *м/сек*:



Фиг. 270. Изолинии глубин, элементарных расходов живых сил и элементарных расходов наносов.

2) среднюю единичную живую силу t в *кгм/м²·сек*; 3) средний единичный расход наносов p_t в *г/сек · м²*.

Далее, можно построить эпюры: 1) элементарных расходов q; 2) элементарных живых сил w; 3) элементарных расходов наносов r.

Планиметрируя указанные эпюры, получим для изучаемого живого сечения: 1) расход воды Q; 2) мощность потока W; 3) расход наносов R. В средних выводах для профиля путем деления этих последних величин на площадь живого сечения Ω (предварительно определенную) получим: 1) среднюю скорость в живом сечении $v_{ср}$ в *м/сек*; 2) среднюю живую силу в сечении $t_{ср}$ в *кгм/м² · сек*; 3) среднее значение наносов $p_{t\,ср}$ в *г/м²сек*.

Имея по данным измерений расходы наносов через элементарные площадки на различных точках вертикали [уравнение (233)], можно построить для живого сечения линии равных единичных расходов наносов. Построения, отвечающие указанному выше, взятые из работ Инженерно-гидрологической станции на Волге (работающей под руководством Жуковского), даны на фиг. 269. Обращает внимание «жила» наносов, вполне определенно вырисовывающаяся у левого берега реки. Если на изучаемом участке выполнить детальные измерения количества наносов в ряде последовательных живых сечений, то можно построить на плане русла изолинии элементарных расходов наносов, показывающие картину распределения наносов по длине изучаемого участка, или иначе картину перемещения наносов вдоль реки.

Такого рода построения, дополняемые еще построениями изолиний элементарных расходов воды и изолиний элементарных живых сил, в их взаимном сопоставлении, позволяют уловить и установить ряд закономерностей, управляющих перемещением наносов на изучаемом участке; пример этих построений дан на фиг. 270.

Волжская инженерно-гидрологическая станция [1], впервые применившая подобного рода построения, дает в своих трудах ряд весьма ценных и интересных соображений и обобщений, которые при иных способах изучения наносов вряд ли могли быть установлены. Детальные изучения режима наносов, подобные вышеописанным, Волжская инженерно-гидрологическая станция называет гидробатометрическими.

ГЛАВА XXV

ДОННЫЕ НАНОСЫ

§ 147. Приборы для учета донных наносов

Вполне удовлетворительных конструкций приборов для учета наносов, передвигаемых по дну, не имеется. Это объясняется трудностями создания соответствующей конструкции, так как всякий прибор, помещенный на дно потока, неминуемо должен нарушать естественные условия течения и, значит, искажать действительный ход перемещения донных наносов.

Следует также отметить, что движение донных наносов, вообще говоря, происходит разными путями: 1) в случае малых скоростей течения (сравнительно с крупностью наносов) — отдельными частицами, с перерывами в их движении; 2) при более значительных скоростях течения — сплошными слоями, перемещающимися весьма неравномерно и даже с перерывами в движении, причем обычно в этом случае на дне образовывается волнообразная поверхность; 3) при еще более значительных скоростях имеет место сплошное движение слоями той или иной мощности.

Понятно поэтому, что в случаях 1 и 2 более или менее близкие к действительности результаты могут быть получены только путем ряда повторных измерений как среднее из них. Оптимальное для данных конкретных условий число повторных измерений может быть установлено только путем опытных многократных измерений и соответствующего анализа этих измерений.

Существующие приборы для учета донных наносов можно разделить по области их применения на такие:

---

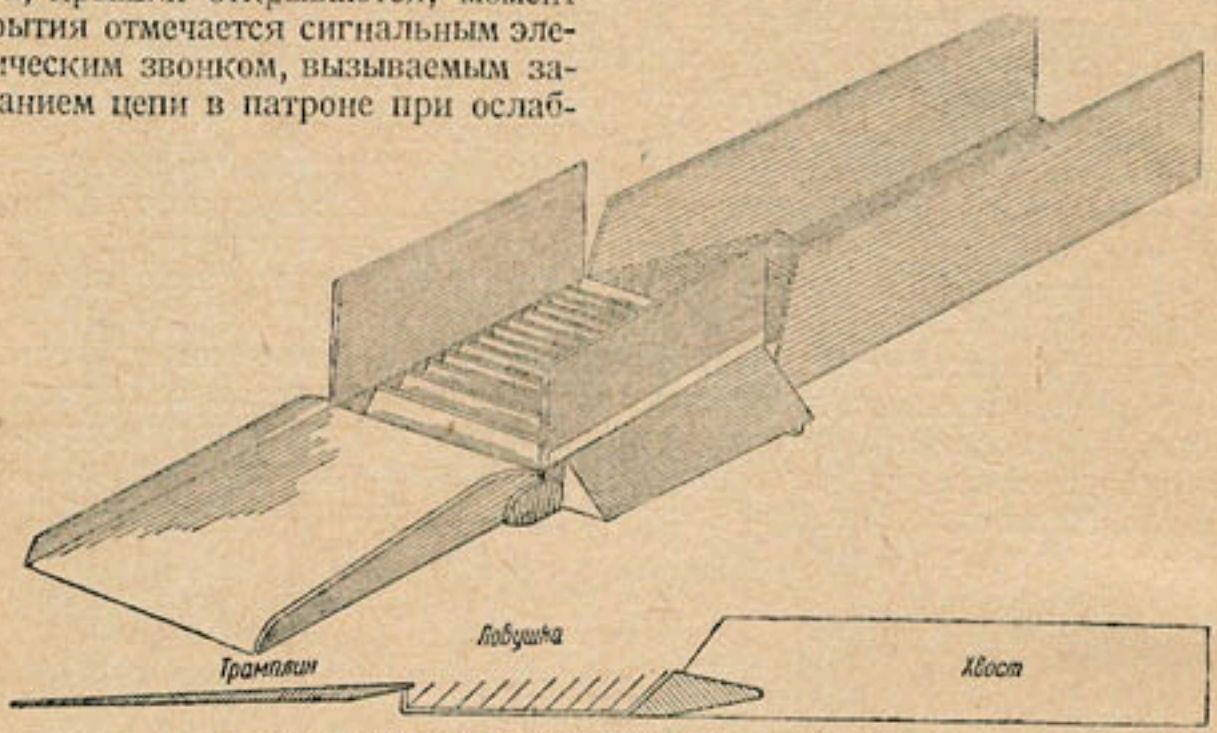
[1] См., например, НИУ НКПС, вып. IX (103). Инженерно-гидрологическая станция (организация и методы работ). Транспечать, НКПС, Москва, 1930.

1) батометры для задержания мелких наносов равнинных рек (ванночка Аполлова, батометр Полякова, батометр Черенкова).

2) батометры для задержания крупных наносов (гальки, гравия), преимущественно горных рек (металлическая сетка; мягкая сетка ГГИ).

1. Новая конструкция донного батометра, уже получившая довольно широкое распространение и при ряде испытаний показавшая удовлетворительные результаты, предложена инж. Б. В. Поляковым.

Этот батометр (фиг. 271) состоит из трех частей, соединенных между собой шарнирно: трамплина, по которому накатываются наносы, ловушки и хвоста. Ловушка представляет собой коробку с поперечными металлическими переборками; коробка эта закрывается двумя боковыми крышками. При опускании батометра в момент его соприкосновения с дном и ослабевания поддерживающего троса, крышки открываются; момент открытия отмечается сигнальным электрическим звонком, вызываемым замыканием цепи в патроне при ослаблении поддерживающего троса. При подъеме прибора, т. е. при натягивании троса, крышки автоматически закрывают ловушку и предохраняют таким образом отложившиеся в ней наносы от вымывания.



Фиг. 271. Донный батометр Б. В. Полякова.

Хвост прибора служит для правильной установки его по течению. При работе этим батометром необходимо иметь в виду, что для получения более надежных результатов в каждую точку желательно опускать прибор не менее трех раз, чтобы исключить могущие иметь место случайные ошибки из-за неправильности установки прибора на дне.

Некоторым недостатком батометра Полякова можно считать его большой вес — около 60 *кг*.

2. Инж. Б. А. Аполловым предложена сконструированная им «донная ванночка», применявшаяся им при работах на Волге, Араксе и Куре.

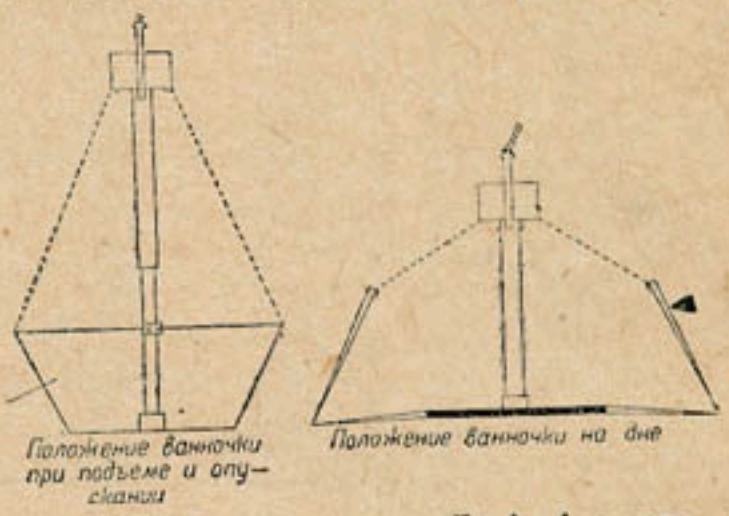
Этот прибор (фиг. 272) сделан из толстой листовой меди и состоит из квадратного дна (18 × 18 *см* и толщиной в 6 *мм*), к которому с четырех сторон прикреплены на шарнирах откидывающиеся крылья трапецоидальной формы высотой в 12 *см* и шириной наверху в 30 *см*. На эту конструкцию сплошь, в развернутом ее виде, наклеена резиновым клеем резина толщиной в 1 *мм*, перекрывающая также треугольные промежутки между смежными крыльями.

В дно ванночки укреплен неподвижно патрубок, в который вставляется съемная стойка длиной 17 *см*, закрепляемая винтом; стойка заканчивается ввинченной в нее сверху иглой длиной в 2 *см*. На эту стойку надевается прямоугольного сечения трубка длиной в 16 *см*, на которой сверху прикреплена компасная коробка. Компасная коробка предохранена от доступа воды резиновыми прокладками в стеклянной крышке.

В компасной коробке помещен лимб с зубчатообразной поверхностью с расстояниями между зубцами в 6°; стрелка компаса лежит между зубцами, пока игла стойки после установки ванночки на дне реки не поднимет стрелку вверх, так как прямоугольная трубка в этом случае опускается вниз.

Коробку охватывает рамка, на которой сделаны штифты и винт для укрепления руля. На этой же рамке имеются штифты и винты для закрепления медных тросиков, идущих от трапецоидальных крыльев.

Прибор опускается в воду на тросе и благодаря рулю (на фиг. 272 руль не показан) устанавливается по течению. Когда прибор станет на дно, трос немного отпускается, и крылья разворачиваются так, что переднее заостренное крыло располагается прямо навстречу течению, боковые же крылья с крышками — вдоль него. Одновременно с моментом раскрытия ванночки пускается в ход секундомер. По истечении некоторого времени секундомер останавливают и ванночку поднимают. При поднятии ванночки игла стойки опускается, и стрелка компаса ложится между зубцами лимба; по положению этой стрелки может быть определен азимут течения. Вода с наносами сливается в воронку и исследуется обычным способом.



Фиг. 272. Донная ванночка Б. А. Аполлова.

Так как описанная ванночка улавливает не только донные, но и взвешенные наносы, для выделения донных наносов поступают так:

Берут последовательно несколько отдельных проб, постепенно увеличивая продолжительность пребывания ванночки на дне, например, первый раз — 10—20 сек., второй раз — 30—40 сек., третий раз — 60 сек., четвертый раз — 100 сек.

Если обозначить через p секундное количество донных наносов, поступающих в ванночку, через t — время нахождения ванночки на дне и через P_0 — количество взвешенных наносов в пробе, то общее количество наносов в ванночке P выразится так:

$$P = p \cdot t + P_0. \tag{240}$$

Количество взвешенных наносов, попадающее в ванночку, не зависит от времени ее нахождения на дне. Поступление в ванночку донных наносов можно полагать пропорциональным времени нахождения ванночки на дне; при достаточно длительном t может установиться транзит донных наносов через ванночку, и в этом случае общее количество наносов в ванночке сделается постоянным и равным P_t.

Исходя из сказанного, величина p определяется по данным нескольких последовательных наблюдений как средняя величина, получаемая из нескольких значений p путем составления и решения систем уравнений с двумя неизвестными:

$$P_1 = pt_1 + P_0,$$
$$P_2 = pt_2 + P_0.$$

Если последовательными измерениями установлено постоянство величины P_t, то можно определить время T, в течение коего донные наносы прошли всю ванночку, и скорость их движения:

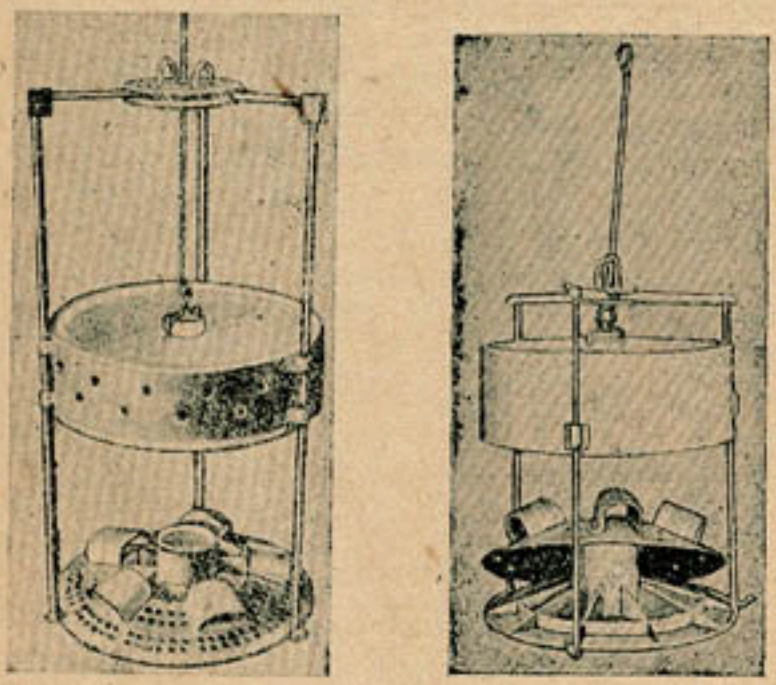
$$T = \frac{P_t - P_0}{p}, \tag{241}$$

$$v = \frac{L}{T}, \tag{242}$$

где L — длина раскрытой ванночки.

Прибор Б. А. Аполлова предпочтительно применяется в районах небольших скоростей.

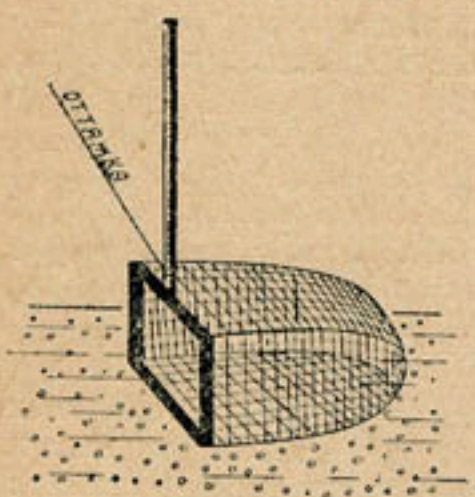
3. Донный батометр Л. Ф. Черенкова (1932 г.) изображен на фиг. 273*а* и фиг. 273*б*. Рабочая часть батометра состоит из разделенного на секторы диска, прикрываемого решетчатой крышкой с направляющими полуцилиндрами. В середине крышки имеется цилиндрическое гнездо для груза погружения. Крышка наклонена к горизонту под углом в 12°, наносы увлекаются на крышку течением потока. Секторы рабочего диска позволяют определить направления, по коим поступают донные наносы; эти направления ориентируются по компасу, помещенному на цилиндрическом футляре, показанном на фигуре сверху рабочего диска, в положении, открывающем рабочий диск для измерения. После выдерживания прибора в течение нескольких минут футляр опускается на рабочий диск, закрывает его, и в таком положении батометр извлекается из воды.



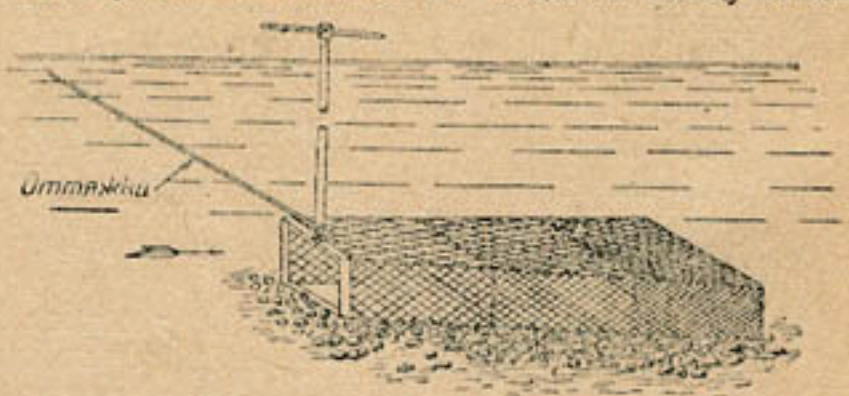
Фиг. 273*а* и *б*. Донный батометр Л. Ф. Черенкова.

4. Если изучению подвергаются количества влекомой по дну крупной гальки, то могут применяться специальные сетки, наподобие показанной на фиг. 274; размеры ячеек определяются крупностью подлежащей уловлению гальки.

Сетчатые батометры имеют обычно тот недостаток, что они не улавливают более мелких, например, песчаных наносов. Для ослабления этого недостатка Б. В. Поляковым предложена металлическая дифференциальная сетка (фиг. 275), с ячейками, постепенно уменьшающимися от входа к концу сетки;



Фиг. 274. Сетчатый батометр для гальки и камней.



Фиг. 275. Металлическая дифференциальная сетка для улавливания наносов горных рек.

для меньшего искажения скоростей течения сетке придана постепенно расширяющаяся к концу форма; нижнюю часть сетки для лучшего ее прилегания ко дну целесообразно изготовлять из кольчужного плетения или заменять листом резины с плоским свинцовым грузом.

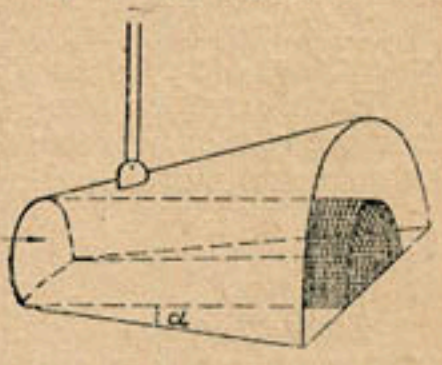
5. Исследования ГГИ (Д. И. Абрамовича) установили, что на горных реках лучше применять мягкие сетки.

На р. Сулак в 1934 г. с успехом применялся такой сетчатый грунтоуловитель на металлической раме с сеткой из тонких шелковых ниток, с просветами ячеек от 0,5 × 0,5 *см* в хвостовой части до 2 × 2 *см* в передней части; нижнюю грань

рамы для достижения лучшего ее сопряжения с дном целесообразно выполнять из резиновых полос, которые можно по мере их ослабления перетягивать или сменять.

Ширина рамы внизу — в пределах 0,20—0,40 *м*. Продолжительность отдельных измерений бралась порядка 10—15 сек. Указанная экспозиция выяснялась на основании ряда измерений и соответствует данным наибольшего улова наносов.

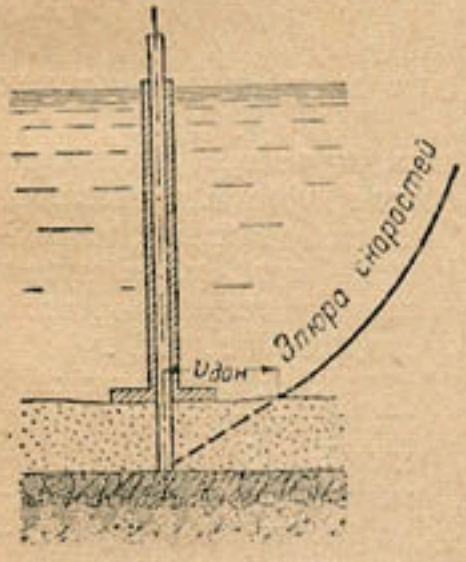
6. Батометр Шамова (фиг. 276) для гальки и гравия может служить примером так называемого вакуумного батометра; сетчатый ящик помещен в расширяющийся металлический кожух, причем входное отверстие находится в более узкой части. В приборе создается пониженное давление, облегчающее втягивание в него галек, особенно крупных, могущих задерживаться у порога батометра. По той же идее сконструирован батометр Сулакской партией ГГИ для наносов с диаметром от 1 до 10 *мм*.



Фиг. 276. Батометр Шамова.

7. Скорости передвижения в потоке крупных камней по предложению инж. Б. Аполлова могут быть определены так:

В отдельных булыгах высверливают отверстия, в которые закладывают взрывчатое вещество, закрываемое изоляцией, через которую пропускают бикфордов шнур, смотанный спиралью. Шнур и отверстие заделываются цементом. Булыгу бросают в определенном месте, зажигая предварительно конец бикфордова шнура, и в момент бросания булыги в воду пускается секундомер. Бикфордов шнур горит в воде, и когда огонь дойдет до взрывчатого вещества, происходит взрыв. В этот момент останавливают секундомер, а по происходящему при взрыве выбрасыванию столба воды и осколков определяют положение булыги. Отсюда определяется длина пути, пройденного булыгой, и, значит, скорость ее передвижения потоком.



Фиг. 277. Щуп Тейберта.

8. Для определения количества передвигающихся по дну целых слоев мелких песчаных наносов инж. Тейберт предложил специальный донный щуп (фиг. 277). Этот щуп состоит из полой цилиндрической штанги, оканчивающейся плоским диском, не погружающимся в поток. Внутри полой штанги передвигается вторая сплошная штанга, которая входит в полужидкий поток и упирается в неподвижное дно. Установив такой щуп, можно определить толщину передвигающегося по дну слоя песчаных наносов; это определение, однако, фактически связано с целым рядом затруднений. Предполагается, что, измерив скорость течения у поверхности движущегося слоя и приняв скорость по нижней поверхности его равной нулю, а скорости в самом слое изменяющимися по закону прямой, можно вычислить расход донных наносов.

Вместо щупа Тейберта толщину передвигающегося донного слоя наносов можно грубо определить двумя последовательными погружениями обычного шеста — до верхней поверхности движущегося слоя и затем — до неподвижного дна.

9. Кроме описанных способов можно еще упомянуть применение мало опробованной установки в дне реки открытых сверху ящиков, помещаемых своими бортами в уровень с дном и затем извлекаемых через определенное время наблюдений; иногда на песчаном дне потока просто закрепляют (например, при помощи кольев) на некоторое время кусок парусины; в таких случаях количество донных наносов определяется по собранному объему наносов и по времени, в течение коего этот объем собирался.

§ 148. Учет донных наносов

1. Учет количества донных наносов затрудняется тем, что нередко перемещение наносов по дну имеет место не по всей ширине русла B, а на некоторой действующей части его ширины B_0, причем $B_0 = \alpha \cdot B$; к тому же перемещение наносов по дну обычно наблюдается только при наличии некоторых расходов воды Q_i, превосходящих так называемый критический расход Q_0, при котором начинается это перемещение. Этот последний расход может быть в каждом конкретном случае установлен только опытным путем. Поэтому в периоды, когда $Q_i < Q_0$, измерений для определения донных наносов можно не производить вовсе, а в остальные периоды — не реже, чем один раз в 1—2 декады.

2. Исчисление секундного расхода донных наносов можно выполнять или в *кг/сек*, или в *см³/сек*, в обоих случаях — на 1 *пог. м* ширины реки.

Если батометр имеет ширину b_0 *м*, продолжительность его работы t сек., вес наносов, захваченных батометром, равен p *кг*, то расход донных наносов на 1 *м* ширины реки при обычном типе батометра равен p_∂:

$$p_\partial = \frac{p}{b_0 \cdot t} \text{ кг/сек.} \qquad (243)$$

Если считать в объемном измерении, причем объем наносов, захваченных батометром, равен w *см³*, то расход p_w равен:

$$p_w = \frac{w}{b_0 \cdot t} \text{ см}^3\text{/сек.} \qquad (244)$$

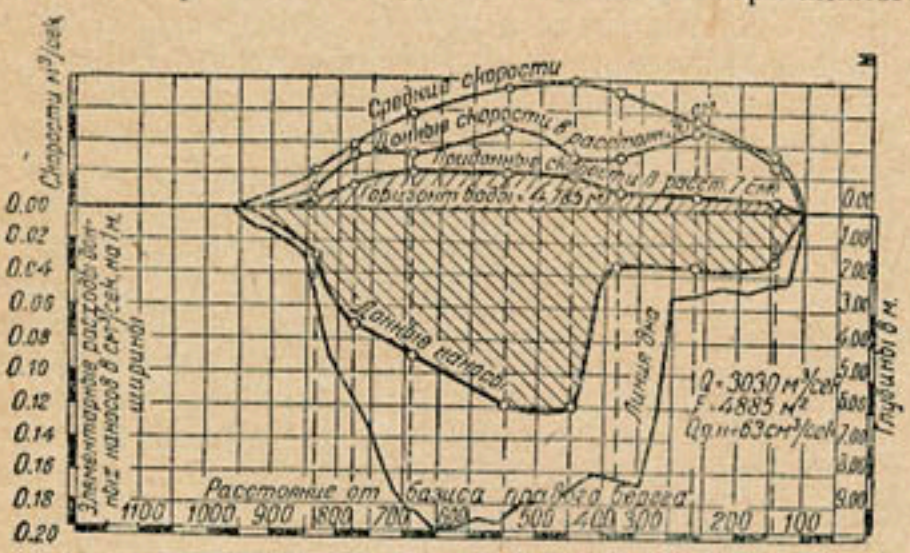
3. Способ исчисления секундного расхода донных наносов при измерениях ванночкой Аполлова был указан в § 147.

4. При измерениях донных наносов в ряде точек по створу живого сечения реки расход донных наносов через весь створ P_∂ может быть вычислен так:

$$P_\partial = \sum \frac{p'_\partial + p''_\partial}{2} \cdot b, \qquad (245)$$

где p'_∂ и p''_∂ — секундные расходы донных наносов для двух смежных точек створа; b — расстояние между этими точками.

Величину P_∂ можно также получить из графического построения эпюры единичных расходов в отдельных точках створа аналогично графоаналитическому способу вычисления расхода воды, т. е. путем планиметрирования этой эпюры (фиг. 278).

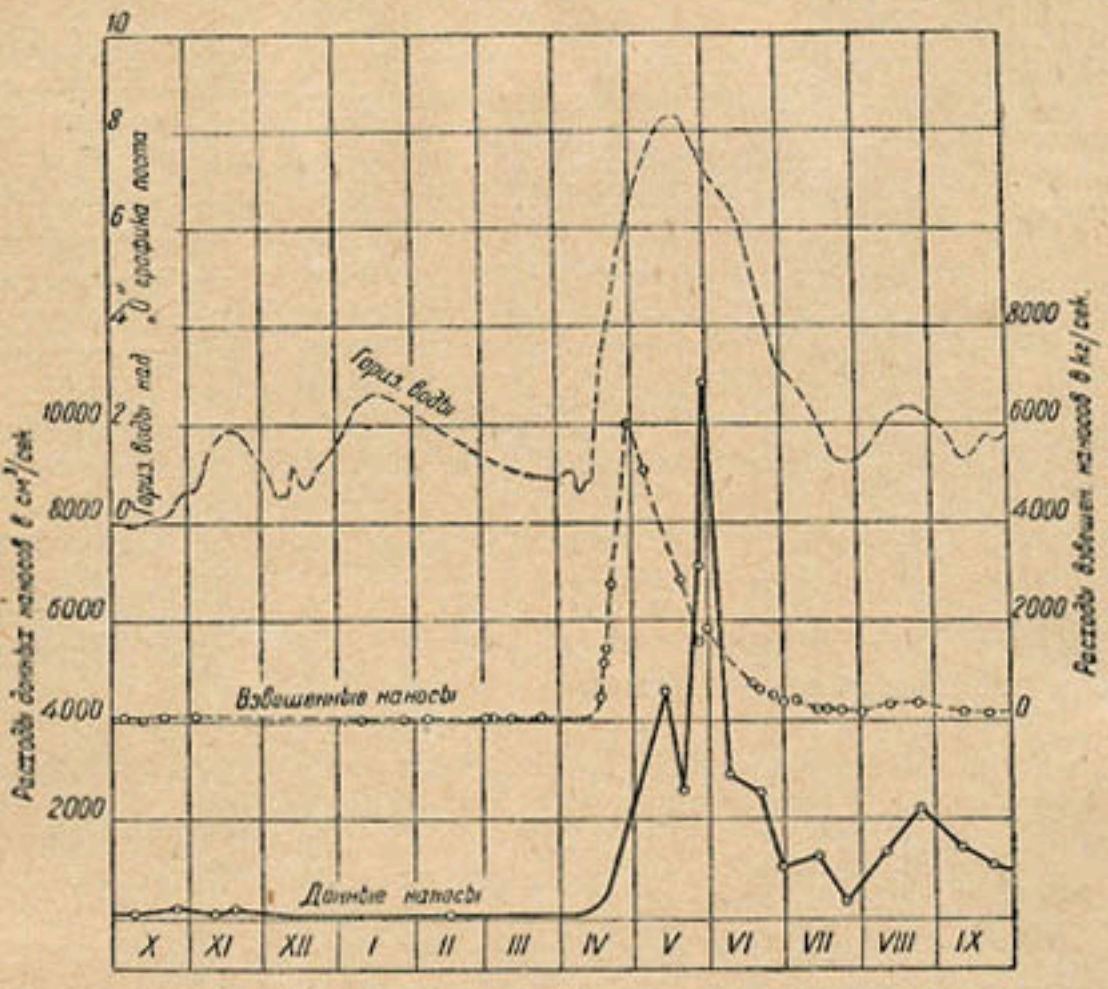


Фиг. 278. Эпюра расхода донных наносов.

5. Вычисление стока донных наносов за какой-либо период времени достаточно надежно может быть осуществлено только на основе более или менее частых измерений секундных расходов донных наносов; по этим последним может быть тогда построен гидрограф секундных расходов, площадь которого, отвечающая периоду наблюдений, даст сток донных наносов за это время.

Можно также пытаться установить связь между величинами секундных расходов донных наносов и расходами воды, уровнями, уклонами. Если такого рода зависимость имеет место, то ею можно воспользоваться для вычисления расходов донных наносов в те периоды, когда измерений расходов наносов не произ-

водилось. На фиг. 279 показан годовой ход донных и взвешенных наносов для Волги у Камышина за 1934/35 г. (по данным Б. В. Полякова).



Фиг. 279. Ход донных и взвешенных наносов р. Волги у Камышина (1934/1935 г.) по Б. В. Полякову.

6. Отметим, что нередко расходы донных наносов исчисляют в отдельности по фракциям различной крупности этих наносов; весь расход тогда может быть получен соответствующим суммированием.

§ 149. Изучение деформаций русла и его грунтов

Изучение деформаций русла представляет собой обычно работу самостоятельного значения, имеющую целью дать последовательную картину изменчивости русла.

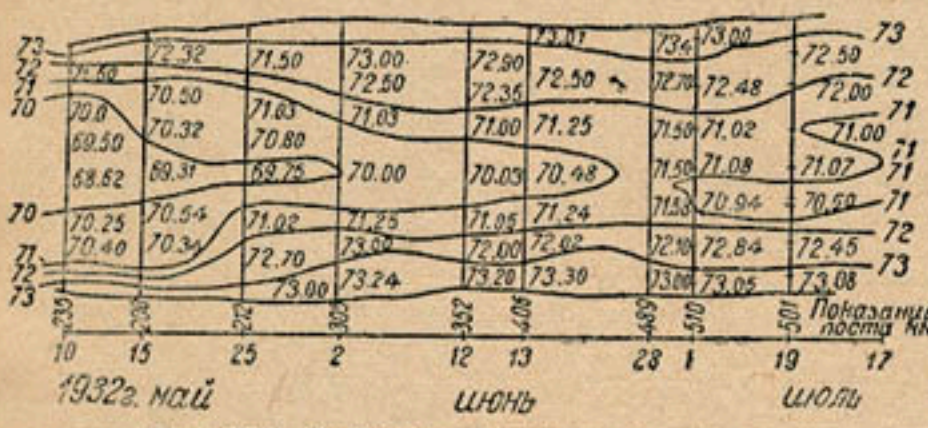
1. Основным методом изучений такого рода можно считать периодически выполняемые промеры глубин русла на изучаемом участке. Промеры выполняются обычными способами (гл. III), но с соблюдением правил, повышающих точность выполнения работ, насколько это возможно. Результаты промеров обрабатываются в виде подробных планов русла реки в изобатах с приведением к одному какому-либо постоянному уровню. Сравнение хронологически последовательных результатов промеров дает общую картину изменчивости и деформации русла на изучаемом участке. Для количественного выражения этой изменчивости удобно выполнять сравнения по отдельным последовательным поперечным профилям, подсчитывая площади живых сечений одноименных профилей или приращения объемов наносов по сравнению со взятыми начальными исходными профилями.

Для большей наглядности изображения при большом количестве измерений иногда строят хронограммы изменения рельефа дна (фиг. 280): по оси абсцисс откладывается время (даты), а по оси ординат — расстояния по ширине створа до точки промера и проставляют отметки дна в точке промера; по полученным отметкам дна проводят горизонтали, которые наглядно показывают ход изменения глубин на створе на протяжении данного периода.

2. Иногда для наблюдения за изменчивостью русла в каких-либо определенных его участках забивают там постоянные вешки, у которых и производят периодические промеры.

Если речь идет о сравнительно небольшом участке и притом о наблюдениях на нем за отложениями наносов, то на таком участке можно поставить наблюдения следующим образом:

По дну участка рассыпают охотничью дробь или металлические опилки; по прошествии определенного времени в этих местах берут пробы грунта при помощи донных щупов, не нарушающих напластования слоев; по положению дроби или опилок во взятом слое можно судить о толщине отложившихся наносов.

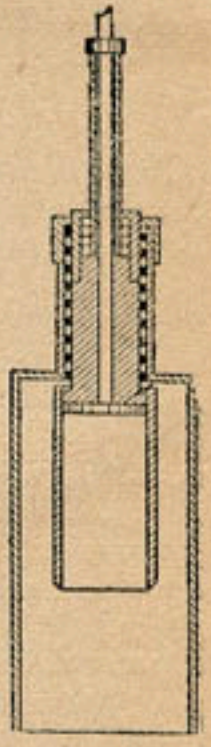


Фиг. 280. Хронограмма изменения дна на створе.

В качестве весьма удобного приема для изучения характера движения крупных донных наносов можно упомянуть применявшийся успешно на ряде заграничных рек прием предварительного окрашивания контрольных полос поперечных профилей смолой или несмываемой краской (например, на пойме перед паводком); произведенные течением воды деформации устанавливаются затем весьма легко и наглядно.

3. Пробы грунта дна представляют вообще значительный интерес в деле изучения донных наносов, так как анализ и изучение этих проб дают картину распределения наносов по глубине русла.

Из донных щупов, применяемых для взятия монолитных проб, достаточно удобным является штанговый донный щуп (фиг. 281). Металлический стакан, навинчиваемый на штангу, помещен в наружный цилиндр, служащий воздушным колоколом. Стакан надет на штангу и имеет внутри поршенек. Наружный цилиндр свободно надет на штангу внутреннего цилиндра и удерживается на сальнике. При опускании прибора в воду воздух в наружном цилиндре сжимается гидростатическим давлением воды, причем высота цилиндра такова, что даже на глубинах до 5 *м* вода дойдет только до низа внутреннего стакана. При вдавливании щупа в дно внутренний стакан вырезает столбик грунта, наружный же стакан благодаря сальнику скользит вверх.



Фиг. 281. Донный щуп.

Проба грунта получается высотой в 10 *см* и диаметром 5 *см*. Чтобы извлечь пробу из стакана в ненарушенном виде, нажимают на поршенек, который и выталкивает взятый образец.

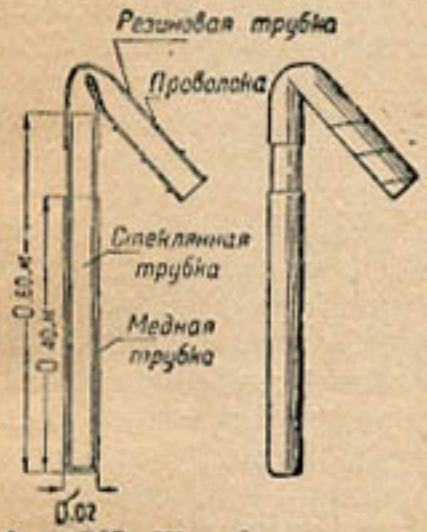
4. Щуп А. Н. Сперанского (фиг. 282) состоит из металлической трубки, в которую вставлена стеклянная трубка; диаметр нижнего отверстия первой на 1 *мм* меньше внутреннего диаметра стеклянной трубки. На верхний конец стеклянной трубки надевается мягкая резиновая трубка, обвитая проволокой. При подъеме эта трубка сгибается и не позволяет грунту выпасть. Прибор дает возможность брать пробы до 60 *см* толщиной. Для погружения прибора может служить штанга или трос с грузом.

5. Инж. Б. Аполловым сконструирован донный щуп, предназначаемый для больших глубин и работы на ходу судна; это — щуп, опускающийся с соответствующим грузом на тросе, в общем схожий со щупом фиг. 281 с той разницей, что в нем имеется лишь один цилиндр с поршеньком; во время погружения цилиндра в грунт под действием груза поршенек отодвигается к верхней его крышке, в которой имеются отверстия для свободного выхода

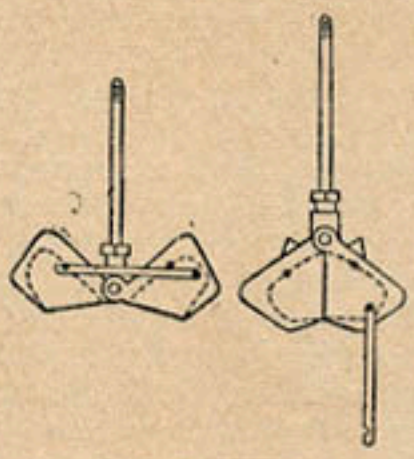
воды, находящейся по другую сторону поршня. Во время вынимания пробы грунта из воды стакан оборачивают дном книзу при помощи троса, а по извлечении прибора из воды грунт выталкивают упомянутым поршеньком.

6. Помимо донных щупов для взятия образцов грунта со дна реки применяют дночерпатели, примером коих может служить дночерпатель Леже (фиг. 283). Прибор состоит из двух тяжелых медных чашек, вращающихся на горизонтальной оси, прикрепленной к стержню, который подвешивается на тросе. Чашки удерживаются открытыми при помощи щеколды, которая при ударе о дно откидывается, в связи с чем чашки при извлечении прибора из воды закрываются. Прибор неудобен тем, что нарушает естественное залегание грунтов; в то же время наиболее мелкие частицы при подъеме вымываются, а иногда прибор не закрывается и ничего не захватывает.

7. На фиг. 284 показана драга, представляющая мешок с входным отверстием в виде щели, образованной двумя сходящимися под углом пластинками. Основной недостаток — нарушение естественного залегания грунтов.



Фиг. 282. Щуп Сперанского.


Фиг. 283. Дночерпатель.

Фиг. 284. Драга.

8. По своему составу донные отложения представляют, главным образом, различные комбинации песка, глины, ила, гравия, камня и ракушечника. При неоднородности своего состава, при описаниях, образец характеризуется выражением, в котором на первом месте ставится название преобладающей породы, а примеси убывающих количеств характеризуются расположенными по порядку названиями примесей (в виде прилагательных), например, глина песчано-илистая.

§ 150. Понятие о механическом анализе

Механический анализ наносов имеет целью определение их состава в отношении крупности входящих в них различных частиц.

В СССР общепринято деление частиц на 4 основные фракции:

1) с диаметром частиц $< 0{,}01$ *мм* (гидравлич. размер $\omega = 0{,}2$ *мм/сек*)
2) » » » от 0,01 до 0,05 *мм* (гидравлич. размер $\omega = 2{,}0$ »
3) » » » » 0,05 » 0,25 » » » $\omega = 21{,}0$ »
4) » » » $> 0{,}25$ » (гидравлич. размер $\omega > 21{,}0$ »

Более крупные частицы обозначаются так:

1) песчаные частицы с диаметром в пределах 0,25 — 0,50 *мм* — мелкий песок
2) » » » » » » 0,5 — 1,0 » — средний песок
3) » » » » » » 1 — 3 » — крупный песок
4) частицы диаметром 3—10 *мм* — гравий и хрящ
5) » » более 10 » — камни

Отделение и разделение на фракции более крупных частиц с диаметром более 1 *мм* или даже более 0,5 *мм* может быть выполнено путем просеивания материала через набор металлических сит с определенными размерами отверстий. Обычно применяемый набор сит имеет отверстия диаметром в 0,5 ,1, 2, 3, 4, 5 и 10 *мм*. Такой набор сит располагается в одной вертикальной раме, причем сита

с крупными отверстиями помещаются выше сит с мелкими отверстиями. После просеивания материала через сита содержимое каждого сита взвешивают на технических весах и таким образом определяют весовое (или процентное) участие каждой фракции во всем составе пробы.

Мелкие частицы могут быть выделены из пробы, например, одним из следующих наиболее распространенных способов:

1) методами отмучивания в стоячей и текучей воде;

2) методами изучения мутности отстаивающегося столба воды.

Метод отмучивания в стоячей воде (Сабанина) основан на следующем:

Если исследуемую породу, размельчив соответствующим образом, тщательно размешать с водой и затем дать ей отстаиваться, то по прошествии некоторого времени T частицы гидравлического размера ϕ пройдут путь h_i, равный $\phi \cdot T$.

Поэтому, если через время T_1 от начала отстаивания слить при помощи сифона слой h_1, то с этим слоем будут отделены от исследуемой породы все частицы с гидравлическим размером меньшим ϕ_1, отвечающим времени их падения T_1. Так, например, если мы хотим удалить частицы с диаметром, меньшим 0,01 *мм*, имеющие гидравлический размер 0,2 *мм/сек*, и притом сливая слой, равный 20 *мм*, то время, по истечении которого следует производить сливание, будет равно

$$T = \frac{20}{0{,}2} = 100 \text{ сек.}$$

За это время ниже слоя в 20 *мм* окажутся все частицы с гидравлическим размером больше 0,2 *мм/сек*, т. е. с диаметром больше 0,01 *мм*. Часть более мелких частиц останется после сливания в нижнем слое; поэтому после первого сливания в сосуд с пробой следует еще долить воды и произвести взмучивание, отстаивание и новое отливание. После достаточного числа сливаний можно добиться почти полного удаления определенной фракции. Таким образом механический анализ по описанному методу сводится к последовательным взмучиваниям, отстаиваниям и отливаниям воды до тех пор, пока сливаемый слой не станет совершенно чистым, причем глубина отливания и время отстаивания назначаются применительно к желаемым границам разделения материала на отдельные фракции.

Отлитые пробы воды, содержащие фракции с выбранными пределами диаметров частиц, подвергаются выпариванию, и затем определяется вес полученных воздушно-сухих остатков, дающий вес фракций заданного диаметра.

В отличие от описанной схемы методов отмучивания в стоячей воде, в иных методах отмучивание осуществляется в восходящем столбе воды (методы Шене и Копецкого).

Методы анализа, основанные на изучении мутности отстаивающегося столба воды (например, Робинзона, Одена), в основе своей имеют ту же идею, что и вышеописанный. Если равномерно взмутив воду с исследуемым материалом, брать при помощи пипетки пробы воды с разных глубин h_i через разное время T_i, то гидравлическая крупность ϕ_i частиц во взятых пробах определяется неравенством:

$$0 < \phi_i < \frac{h_i}{T_i}. \qquad (246)$$

Например, при взятии пробы с одной и той же глубины в 30 *см* для осаждения частиц $< 0{,}01$ *мм* надо, чтобы время отстаивания равнялось 25 мин.; для частиц $< 0{,}005$ *мм* — 18 час. и для частиц $< 0{,}001$ *мм* — 3 суткам (учитывая гидравлический размер этих частиц).

Пробы берут одинакового объема, выпаривают их для определения веса содержащихся в них примесей и затем перечисляют на весь объем исследуемых наносов путем умножения на отношение $\frac{W}{w}$, где W — весь объем воды с исследуемыми наносами, а w — объем последовательно взятых и отлитых из общего объема проб.

Изложенный метод дает результаты, несколько отличающиеся от получаемых по методу Сабанина, но является в то же время более скорым и простым.

На этой же идее основан прибор, предложенный инж. Б. Аполловым и названный им фракциометром; этот прибор позволяет выделять фракции с диаметром частиц от 0,5 до 0,01 *мм*, причем продолжительность такого анализа не превышает 1 часа.

Наконец, для полевых приближенных исследований, особенно в случае песчанистых отложений, можно применять полевую аналитическую трубку. Эта трубка имеет длину в 45 *см*. Образец грунта, предварительно размельченный, вводится в трубку и смешивается с водой трубки энергичным взбалтыванием. Затем трубку устанавливают вертикально в особый штатив и в тот же момент начинают счет времени по секундомеру (или метроному). Далее, отмечают моменты осаждения первых крупных зерен, затем моменты, отвечающие особо интенсивному осаждению, и моменты, когда осаждающаяся порода, достигнет первого, второго и т. д. делений, пока практически не осядут все наносы.

По скорости падения отдельных групп частиц вычисляется их гидравлическая крупность как частное от деления высоты падения (длины трубки) L на время падения T. По этим данным может быть составлена таблица крупностей в объемных единицах и построен соответствующий график.

Результаты механического анализа даются обычно в виде таблиц, где указывается состав наносов по отдельным фракциям, или в виде графических построений различных видов. Определение механического состава наносов в ряде случаев (например, при изысканиях для орошения) может сопровождаться химическим их анализом.

§ 151. О путях усовершенствования гидрометрических изучений

Потребности социалистического строительства в нашей стране требуют непрерывного совершенствования методов и приемов гидрометрических изучений. Это совершенствование, повидимому, может осуществляться несколькими путями: 1) рационализацией как существующей организации, так и методов и приемов гидрометрических изучений; 2) улучшением технического оснащения гидрометрических изучений; 3) внедрением в производство новых, более эффективных методов и приемов производства работ.

Рационализация гидрометрических изучений должна базироваться на детальных и четко разработанных планах и программах работ, учитывающих ближайшие и перспективные нужды водного хозяйства страны, на правильном подборе и расстановке кадров, на четком руководстве и инструктировании, на хорошем качестве оборудования и инструментария и на надлежащем контроле выполнения.

Как видно из всего предыдущего изложения книги, в гидрометрических изучениях можно выделить такие основные этапы исследований: 1) стационарные изучения; 2) спорадические измерения; 3) камеральные обработки.

Цель стационарных изучений заключается в наборе длительных рядов наблюдений основных элементов, характеризующих режим водных объектов. Существенным пробелом в современной постановке стационарных изучений можно считать еще недостаточное число наблюдательных пунктов, не всегда удачное их размещение, как по территории страны, так и в отношении надлежащего учета местных особенностей изучаемых участков рек. Недостаточно охвачены изучением малые реки Союза, сеть которых обширна и представляет большой народохозяйственный интерес. В то же время общие закономерности режима рек малых бассейнов менее ясны, чем рек более значительных.

Стационарные изучения, как отмечалось ранее, во многих случаях могут быть упрощены и уточнены при условии более широкого внедрения автоматических приборов, в первую очередь — максимальных и минимальных реек и лимниграфов.

Для нужд так называемой эксплоатационной гидрометрии, т. е. гидрометрии, имеющей своей задачей обслуживать эксплоатацию водных ресурсов, особое значение могут иметь также дальнодействующие автоматические приборы, позволяющие передавать показания от места наблюдений к местам, где эти наблюдения непосредственно используются; таковы, например, случаи наблю-

дений за режимом водохранилищ в целях той или иной эксплоатации их регулирующей способности. Сюда же относится обслуживание оросительных систем, сети наблюдательных пунктов для нужд гидрологических прогнозов и т. д.

В спорадических измерениях многое еще можно сделать в отношении оборудования и аппаратуры. Несмотря на высокое качество ряда современных типов вертушек, все же они еще могут быть в дальнейшем усовершенствованы, например, в части устранения для многих типов вертушек вредного влияния химических веществ, иногда в большом количестве растворенных в речной воде, улучшения гидромеханических характеристик вертушек в целях уменьшения изменчивости постоянных коэфициентов при продолжительной их работе и т. п. Не имеется также еще вполне удовлетворительных и удобных в работе конструкций вертушек, позволяющих вместе со скоростями измерять и направление струй в вертикальной и горизонтальной плоскостях, в чем встречается настоятельная нужда, особенно в исследованиях, связанных с изучениями русловых процессов. Большое поле деятельности представляется еще в области усовершенствования изучения донных, а также взвешенных наносов; не достаточно удовлетворительно разрешена пока проблема аппаратуры для измерения перемещающихся по дну наносов.

Большие затруднения вызывают до сих пор измерения расходов на реках с весьма медленным течением, на которых вертушка не обеспечивает получения надежных результатов.

Нет еще надлежащей диференциации способов измерений применительно к различным условиям. Методы электрохимический и смешения еще ждут более широкого применения в условиях горных потоков и неправильных русел с большими скоростями течения.

Уместно будет упомянуть о некоторых принципиально новых предложениях в части измерений, выдвинутых в последнее время, но еще не развитых до степени практической законченности. Так, О. К. Блумберг предложен простой прибор «турбомер», позволяющий изучать по величине и направлению все три составляющие скорости течения и оценивать, таким образом, турбулентность потока. К числу также новых предложений (Блумберг) можно отнести метод, позволяющий изучать скорости и их направление путем выпуска красочного облачка и последующего изучения его во всех направлениях при помощи измерения концентрации проб воды. К новым методам измерения мутности воды можно отнести предложение, основанное на фиксации изменчивости прозрачности воды при помощи фотоэлементов (прибор Калитина). Встретившиеся при осуществлении этого предложения трудности, однако, еще не преодолены.

В части камеральных работ рационализация гидрометрических обработок должна итти прежде всего по пути приведения в полное взаимное соответствие степени детальности и точности обработок с точностью исходных данных. Недостаточно внедрена у нас еще механизация массовых обработок как в смысле их упрощения с помощью соответствующих вспомогательных графиков и таблиц, так и в смысле применения более сложных счетных машин.

Стахановские методы работы, давшие столь плодотворные результаты в различных областях промышленности, еще недостаточно вошли в обиход гидрометрических изучений. Производственный процесс в целом и в его деталях нуждается в дальнейшем упорядочении. Лозунг товарища Сталина: «выжать из техники максимум того, что из нее можно выжать» — еще не претворился целиком в жизнь.

Таким образом в области гидрометрических изучений — их организации, выполнения и результативных обработок — еще имеется много сторон, требующих рационализации, перестройки и дальнейших улучшений. Эти улучшения возможны и необходимы как на базе тех материальных возможностей, которые гидрометрия имеет теперь, так и на базе уже начинающей возникать новой техники, использующей новейшие достижения физики и электротехники. Эти улучшения должны итти также по линии упрощения, ускорения и удешевления гидрометрических работ, конечно, при условии обеспечения надлежащего их качества.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ

ТАБЛИЦА К ФОРМУЛЕ КРИВОЙ ПОДПОРА ПО ДЮПЮИ-РЮЛЬМАНУ

$\frac{Z}{h_0}$	$\varphi\left(\frac{Z}{h_0}\right)$	$\frac{Z}{h_0}$	$\varphi\left(\frac{Z}{h_0}\right)$	$\frac{Z}{h_0}$	$\varphi\left(\frac{Z}{h_0}\right)$	$\frac{Z}{h_0}$	$\varphi\left(\frac{Z}{h_0}\right)$
0,010	0,007	0,290	1,324	0,570	1,759	0,850	2,109
0,015	0,145	0,295	1,334	0,575	1,765	0,855	2,115
0,020	0,244	0,300	1,343	0,580	1,771	0,860	2,121
0,025	0,322	0,305	1,352	0,585	1,778	0,865	2,127
0,030	0,386	0,310	1,361	0,590	1,785	0,870	2,133
0,035	0,441	0,315	1,370	0,595	1,791	0,875	2,139
0,040	0,489	0,320	1,379	0,600	1,798	0,880	2,145
0,045	0,532	0,325	1,388	0,605	1,805	0,885	2,151
0,050	0,570	0,330	1,396	0,610	1,811	0,890	2,157
0,055	0,605	0,335	1,405	0,615	1,818	0,895	2,162
0,060	0,638	0,340	1,414	0,620	1,824	0,900	2,168
0,065	0,668	0,345	1,422	0,625	1,831	0,905	2,174
0,070	0,696	0,350	1,431	0,630	1,837	0,910	2,180
0,075	0,722	0,355	1,439	0,635	1,844	0,915	2,186
0,080	0,747	0,360	1,447	0,640	1,850	0,920	2,192
0,085	0,771	0,365	1,456	0,645	1,857	0,925	2,197
0,090	0,793	0,370	1,464	0,650	1,863	0,930	2,203
0,095	0,815	0,375	1,472	0,655	1,869	0,935	2,209
0,100	0,835	0,380	1,480	0,660	1,876	0,940	2,215
0,105	0,855	0,385	1,488	0,665	1,882	0,945	2,221
0,110	0,874	0,390	1,496	0,670	1,889	0,950	2,226
0,115	0,892	0,395	1,504	0,675	1,895	0,955	2,232
0,120	0,910	0,400	1,512	0,680	1,901	0,960	2,238
0,125	0,927	0,405	1,520	0,685	1,908	0,965	2,244
0,130	0,943	0,410	1,528	0,690	1,914	0,970	2,250
0,135	0,959	0,415	1,535	0,695	1,920	0,975	2,255
0,140	0,975	0,420	1,543	0,700	1,927	0,980	2,261
0,145	0,990	0,425	1,551	0,705	1,933	0,985	2,267
0,150	1,005	0,430	1,559	0,710	1,939	0,990	2,272
0,155	1,019	0,435	1,566	0,715	1,945	0,995	2,278
0,160	1,033	0,440	1,573	0,720	1,952	1,000	2,284
0,165	1,047	0,445	1,581	0,725	1,958	1,100	2,397
0,170	1,061	0,450	1,588	0,730	1,964	1,200	2,508
0,175	1,074	0,455	1,596	0,735	1,970	1,300	2,618
0,180	1,087	0,460	1,603	0,740	1,976	1,400	2,726
0,185	1,099	0,465	1,611	0,745	1,983	1,500	2,834
0,190	1,112	0,470	1,618	0,750	1,989	1,600	2,940
0,195	1,124	0,475	1,625	0,755	1,995	1,700	3,046
0,200	1,136	0,480	1,632	0,760	2,001	1,800	3,151
0,205	1,148	0,485	1,640	0,765	2,007	1,900	3,256
0,210	1,159	0,490	1,647	0,770	2,013	2,000	3,359
0,215	1,171	0,495	1,654	0,775	2,019	2,100	3,463
0,220	1,182	0,500	1,661	0,780	2,025	2,200	3,556
0,225	1,193	0,505	1,668	0,785	2,031	2,300	3,669
0,230	1,204	0,510	1,675	0,790	2,037	2,400	3,772
0,235	1,215	0,515	1,682	0,795	2,043	2,500	3,874
0,240	1,225	0,520	1,689	0,800	2,049	2,600	3,977
0,245	1,236	0,525	1,696	0,805	2,055	2,700	4,079
0,250	1,246	0,530	1,703	0,810	2,061	2,800	4,181
0,255	1,256	0,535	1,710	0,815	2,067	2,900	4,283
0,260	1,266	0,540	1,717	0,820	2,073	3,000	4,384
0,265	1,276	0,545	1,724	0,825	2,079	3,500	4,889
0,270	1,286	0,550	1,731	0,830	2,085	4,000	5,396
0,275	1,296	0,555	1,738	0,835	2,091	4,500	5,899
0,280	1,305	0,560	1,744	0,840	2,097	5,000	6,412
0,285	1,315	0,565	1,751	0,845	2,103	—	—

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ФОРМА ТЕХНИЧЕСКОГО СПИСКА ВОДОМЕРНОГО ПОСТА №

(для гидрометрической службы)

1. Река (канал, озеро)
2. Республика (область) (округ) (район)
(волость) (селение)
3. Почтовая контора в гор., селе
в *км*
4. Телеграфная контора в гор., селе
в *км*
в *км*
5. Железнодорожная станция или пристань
в *км*
6. Ближайшее селение (город)
7. Адрес: почтовый
„ телеграфный
8. Ведомость наблюдателей поста:

Сообщение поста с ними по какой дороге

№ по пор.	Фамилия, имя и отчество	Время		Род занятий	Образование	Расстояние от жилища до поста	Причины оставления службы
		поступления	увольнения				
1							
2							

9. Оценка наблюдений
10. Пост открыт числа месяца года (кем)
находится в ведении
11. Целевое назначение поста
12. Роль поста в сети
13. Координаты поста: широта долгота
по карте издания в масштабе 19— г
14. № листа международной карты
15. Расстояние поста от устья реки *км* по карте издания
в масштабе 19— г.
16. От устья ближайших притоков: вверх по течению
вниз по течению
17. Положение поста относительно островов, перекатов, порогов
18. Бассейн реки от верховьев до поста *км²* по карте издания
в масштабе 19— г.
19. Питание реки
20. Основной характер реки
21. Режим реки: характер весеннего паводка
межени
зимних условий
22. Паводки: их происхождение, частота, интенсивность, внезапность
23. Даты и размеры особо катастрофических паводков, причиненные ими разрушения
24. Ледоход и ледостав, их характерные даты
25. Вскрытие, его характер и даты
26. Возможность заторов
27. Местоположение поста (берег правый, левый)
28. Есть ли парный пост на берегу
кривизна участка

Продолжение

29. Наличие естественного или искусственного порога-регулятора, его расстояние от поста ——
высота гребня
до каких горизонтов действителен
30. Оценка выбранного участка
31. Близость переката, его характер
32. Изменчивость русла
33. Иные условия, могущие вызывать переменный подпор
34. Уклон при низкой воде
„ „ высокой воде
35. Скорости при низкой воде
„ „ высокой воде
36. Характер берегов: правого
„ „ левого
37. Ложе реки
38. Характерные наносы
39. Пойма
40. Ширина реки при низкой воде
„ „ „ высокой воде
41. Число рукавов при низкой воде
„ „ „ высокой воде
42. Зарастаемость водной растительностью
43. Иные условия, могущие вредить действию поста
44. Наличие судоходства и сплава
45. Использование реки
46. Точное расположение постового устройства
47. Тип поста
48. Подробное описание
49. Реперы, их местонахождение, описание и пр.
50. Условные и абсолютные отметки реперов и постовых устройств
51. Дополнительные инструментальные наблюдения
52. Наблюдения за температурой воды
53. Наблюдения за температурой воздуха
54. Дополнительные глазомерные наблюдения
55. Частота ежедневных наблюдений зимой
„ „ „ летом
56. Сроки их
57. Порядок производства паводочных наблюдений
58. Способы извещения
59. Порядок производства зимних зажорных наблюдений
60. Способы извещения
61. Особые замечания
62. Ведомость реперов поста

№	Материал	Способ установки	Условная отметка *м*	Абсол. отметка *м*	С какого времени существует	Примечания

63. Чертежи реперов поста с указанием на них мест для установки рейки, надписей и размеров реперов [1].
64. Схематический профиль поста с указанием размеров вертикальных и горизонтальных. Обязательно должны быть показаны реперы, сваи, рейки, горизонт воды в день и час составления описания, отметки реперов, головок свай и нулевых делений реек, номера и горизонтальные расстояния между реперами, сваями и рейками (в *м*) [1].

[1] В подлинном техническом списке после этой графы должно быть оставлено место для выполнения требуемого чертежа.

Продолжение

65. Схематический поперечный профиль реки по створу поста с указанием: горизонтальных расстояний от репера (или верхней сваи-репера) и условных отметок профиля относительно той же точки. Обязательно должны быть показаны: принятая для нивелировки (ватерпасовки) отметка репера (или сваи-репера) и отметка горизонта воды в день и час составления описания (размеры в *м*) [1].
66. Схематический план участка реки [2] в районе расположения водомерного поста с указанием направления магнитной стрелки, свай поста, рейки, реперов, притоков, селений и прочих местных характерных точек [1].
67. Фотографии поста [1].
68. Описание свай.

№ свай	Расстояние от репера	Материал	Длина в *м*	Поперечные размеры в *м*	Глубина под землей в *м*	Способ установки [3]	Способ укрепления головок свай [4]	Условная отметка *м*	Примечания

69. Описание реек.

№ реек	Длина в *м*	Поперечные размеры в *см*	Способ обозначения	В каких мерах деления	К чему и как прикреплена рейка	Условные отметки нуля рейки, *м*

70. Сведения об изменении и замене свай и реек

Номера сваи или рейки	Повреждения			Исправления		
	число, месяц и год	условная отметка до повреждения	описание повреждения	число, месяц и год	условная отметка после починки *м*	описание исправления

Год, месяц, число

Список составил _____

(подпись)

[1] В подлинном техническом списке после этой графы должно быть оставлено место для выполнения требуемого чертежа.

[2] Длина показываемого на плане участка должна быть не менее пятикратной ширины реки.

[3] Забита, закопана, завинчена.

[4] Головка окована железом (колпак), забит гвоздь с широкой шляпкой.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОДЫ ПОПЛАВКАМИ

РАСХОД №_____

(в скобках указать порядковый номер определения расхода у данного пункта)

Измерен __ дня _____ месяца 19 __ года

Способ определения: (подчеркнуть) по максимальной поверхности скорости; по скоростям по всей ширине реки.

Бассейн реки _____

Река _____

Округ _____

Рабочий створ №_____ у _____

Ближайший водомерный пост №____ у _____

Расстояние между крайними створами _____ *м*

Отметка ближайшего репера № _____

на $\frac{\text{правом}}{\text{левом}}$ берегу _____

Отметка гориз. воды { на створе _____ *м*; на ближайшем водом. посту ____ *м*

Начало измер. ____ час. ____ мин. пополу ____

Конец измер. ____ час. ____ мин. пополу ____

Ширина жив. сечения $B_{ср}$ = _____ *м*

Глубина наибольшая: H_{max} = __ *м* средн. $\frac{\Omega_{ср}}{B_{ср}}$ = ____ *м*

Площадь жив. сечен. $\Omega_{ср}$ = _____ $м^2$

Переходной коэфициент K = _____

Расход реки Q _____ $м^3$ в 1 сек.

Средняя скорость $V_{ср} = \frac{Q}{\Omega_{ср}}$ = _____ *м/сек*

Наибольш. поверхн. скорость V_{max} = ____ *м/сек*

Температура воды _____ °C

Температура воздуха _____ °C

Состояние погоды и реки:

Нужное подчеркнуть.

Погода: Ясно, пасмурно, дождь, снег.

Ветер: нет, слабый, средний, сильный, весьма сильный.

Направление ветра: по течению, против, с правого берега, с левого берега.

Разрушаются берега: правый, левый, нет.

Ложе реки: скалистое, гравелистое, песчаное, илистое, глинистое, чистое, заросшее, переменное.

Степень мутности воды: чистая, слабомутная, среднемутная, сильномутная, весьма мутная.

Мусор плывет: у берегов, по стрежню, мусора нет, мало, много. Идет сало, лед.

Измерения уровней во время измерения расхода:

Отметка горизонта воды { перед началом промеров _____; после окончания промеров _____; перед началом измер. скор. _____; после окончания измер. скор. _____

Примечания:

Вычисление расхода по максимальной поверхностной скорости

$V_{max\ ср} = \frac{\quad}{2}$ = _____ *м/сек*

R = _____ *м* K = _____

$Q = \Omega_{расч} \times V_{max\ ср} \times K$ = _____

_____ $м^3$/сек

Подпись измерявшего расход _____

Поплавки и их скорости						
№ поплавков	Места прохода через створы (расстояние от магистр. или углы)			Расстояние между створами	Продолжительн. хода поплавков	Скорости хода поплавков в *м/сек*
	Верховой	Средний	Низовой			

(Начало оборотной страницы)

ИЗМЕРЕНИЯ ГЛУБИН ПРОИЗВЕДЕНЫ, НАЧИНАЯ ОТ $\frac{\text{ПРАВ.}}{\text{ЛЕВ.}}$ БЕРЕГА (ненужное зачеркнуть)

Все измерения и вычисления в метр. мерах

Промеры и площади живых сечений															Вычисление расхода		
Верхний створ					Низовой створ					Средний створ							
Расстояние от магистрали	Глубины	Полусуммы смежных глубин	Расстояние между смежными глубинами	Площади площадок	Расстояние от магистрали	Глубины	Полусуммы смежных глубин	Расстояние между смежными глубинами	Площади площадок	Расстояние от магистрали	Глубины	Полусуммы смежных глубин	Расстояние между смежными глубинами	Площади площадок (произв. гр. 13 на гр. 14)	Скорости на промерных вертикалях с графика	Полусуммы смежных скоростей	Фиктивные элементарные расходы (произвед. гр. 17 на гр. 15)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
	0,00 (урез)					0,00 (урез)					0,00 (урез)						

(Конец оборотной страницы)

Площадь живого сечения $\Omega_{верх}$ = _____ кв. метр. $\Omega_{низ}$ = _____ кв. метр.

Ширина реки $B_{верх}$ = _____ метр. $B_{низ}$ = _____ кв. метр.

$\Omega_{расч} = \frac{\Omega_{верх} + 2\Omega_{ср} + \Omega_{низ}}{4}$ _____ $м^2$

Подпись проверявшего вычисления _____

$B_{ср}$ = _____ $м$ $\Omega_{ср}$ = _____ кв. метр. $Q_{фикт}$ = _____ $м^3/сек$

Действительный расход $Q_д = Q_{фикт} \times K$ = _____ =

= _____ $м^3/сек$

Подпись вычислявшего расход _____

Приложить: Схему участка и чертежи живых сечений, в случае измерения скоростей по всей ширине реки — также график распределения этих скоростей.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Заглавная страница

ПОЛЕВОЙ ЖУРНАЛ
измерения расхода воды вертушкой

Единая гидрометеорологическая служба Союза ССР

Станция №	Тип	Разряд	
Река			
Местонахождение станции			Бассейн

РАСХОД № _____ _____ *мес. 193__ г.*

Место определения расхода $\frac{\text{выше}}{\text{ниже}}$ _____ *м* основного водпоста данной станции

Принятые данные	Состояние реки и погоды
Отм. гориз. воды на раб. проф. . . . . = ___ *м* Отметка гориз. воды на основн. в. п. . = ___ *м* Поправка на дно . . . . . = ___ *м* Исправленный гор. воды . . . . . = ___ *м* Расход воды . . . . . Q = ___ куб. $\frac{м}{сек.}$ Площадь жив. сечения . . . . . Ω = ___ кв. *м* Средняя скорость . . . . . V = ___ $\frac{м}{сек.}$ Наибольшая скорость . . . . . v_m = ___ $\frac{м}{сек.}$ Ширина реки . . . . . B = ___ *м* Средняя глубина . . . . . $h_{ср}$ = ___ *м* Число вертикалей . . . . . N = _____ Грунт на рабочем створе состоит из _____ Средн. толщ. погруженн. льда = _____ *м* » » » глубинного льда = _____ *м* Смоченный периметр χ _____ Подводный радиус R _____ Коэфициент шероховатости { γ по Базену _____ / n по Гангилье-Куттеру _____	Ясно, пасмурно, облачно, туман, гроза, дождь, снег, метель. Ветер: нет, слабый средний, сильный, буря, по течению, против течения, от $\frac{\text{левого}}{\text{правого}}$ берега. Чистая, несет сор. Поострежию, у $\frac{\text{левого}}{\text{правого}}$ берега. Мутность: отсутствует, слабая, сильная. Плывет сало, лед. На реке спокойно, рябь слабая, средняя, сильная волна. Выше, ниже вертикали, плоты, майны, торосы, наледь, снег ровный, неровный. Рабочий створ $\frac{\text{расчищается}}{\text{не расчищается}}$ от снега.

Горизонты воды	Основной пост			_____ пост			_____ пост		
	№ сваи	отсчет по рейке	отметка	№ сваи	отсчет по рейке	отметка	№ сваи	отсчет по рейке	отметка
В начале измер.									
В середн. измер. после ... верт.									
В конце измер.									
Принятые . . .									

Падение между постами	Расстояние между постами	Уклон
$H_1 - H_2$ =	L = *км*	$I = \frac{H_1 - H_2}{L}$ =

Вторая и третья страницы

Промеры и вычисления площади живого сечения

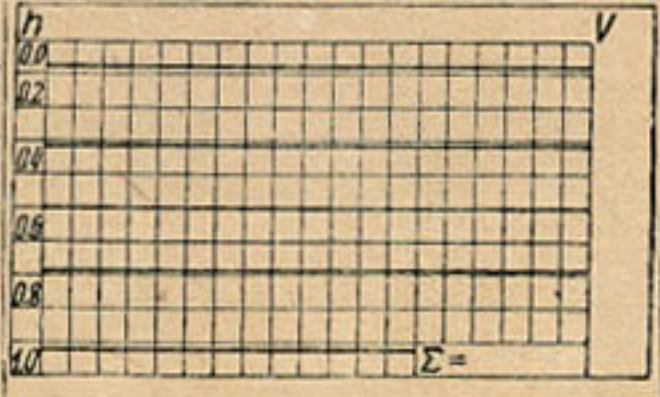
№ промерных точек	Расстояние от постоянного начала в м	Толщина льда под водой в м	Толщина шуги в м	Глубина в м: Промеры 1	Промеры 2	Средн. за вычетом льда и шуги	Расстояние между промерами в м	Средняя глубина площадки в м	Площадь площадки в м²	Площадь сечения между скоростными вертикалями
Урез лев. / прав. б.										
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										

Левая сторона 4-й страницы

№ вертикали	Расстояние от постоянного начала в м	1. Общ. глуб. 2. Толщ. льда 3. Толщ. глубин льда 4. Прин. глуб.	Глубина опускания вертушки		Через сколько оборотов произв. отсчет	Отсчеты по секундомеру контакт вертушки через ——— оборот 1	2	3	4	5	6	Общее количество секунд
1		1	пов.									
		2	0,2									
		3	0,6									
		4	0,8									
			дно									

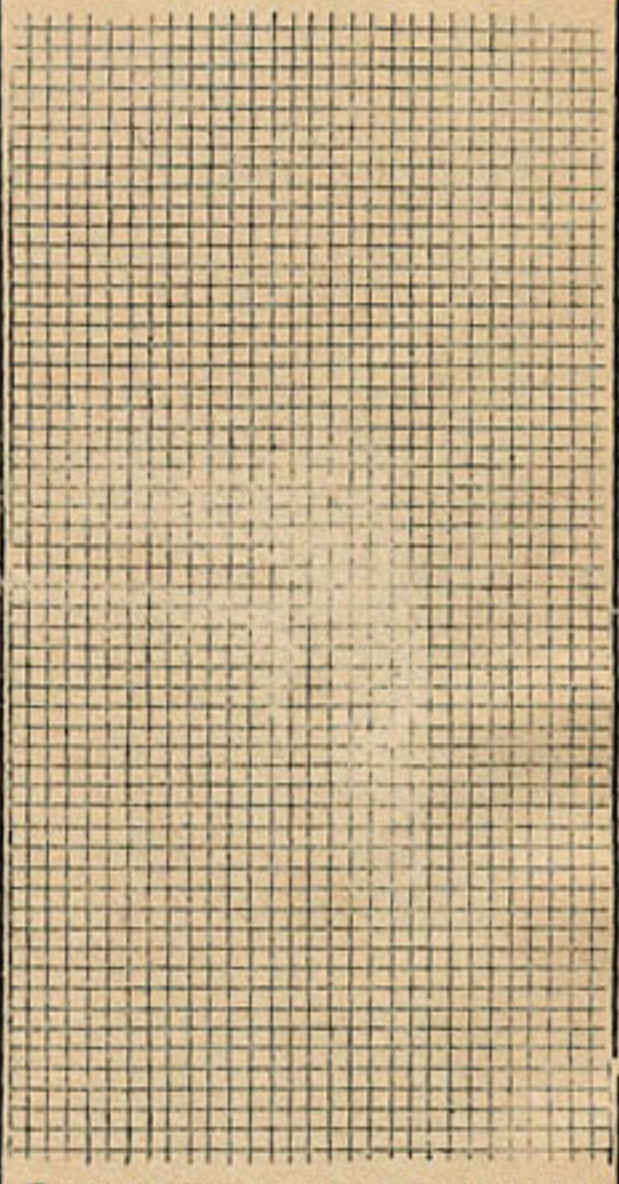
Примечание. О помехах и затруднениях в работе и пр.

5-я страница

Сумма оборотов вертушки	Число оборотов вертушки в секунду	Скорость течения в м/сек	Подсчет средней скорости на вертикали (способ Чебышева)	Принят. средняя скорость на вертикали	Полусумма скоростей смежных вертикалей	Площ. сечения между скоростными вертикалями	Расход между смежными вертикалями
							

Расход воды $Q =$ куб. м в сек.

Последняя страница

Обстановка работ	Для примечаний
Вертушка _____ № _____ Лопасть № _____ Вертушка опускалась на тросе / на штанге с понтона, лодки, мостика, люльки, парохода. Контакт через _____ оборотов _____ Метод наблюдений _____ Тарировка № _____ " _____ 193 _____ Секундомер фирмы _____ № _____ Выверенный _____ Расход при обработке отнесен: к промеру „ _____ " _____ 193 _____ г. к тарировке „ _____ " _____ 193 _____ г. После последней тарировки измеряется _____ расход:	 Профиль живого сечения и эпюра скоростей.

Береговые участки реки	Берег левый	Берег прав.
Расстояние от пост. начала *) до уреза воды		
*) За постоянное начало принят		
Расстояние от пост. начала до ближайшей к урезу точки, где обнаружена поверхностная скорость (поплавком)		
Глубина в этой точке		

Начало работ . . . . . ч. _____ м.
Конец . . . . . ч. _____ м.
Продолжит. работ . . . ч. _____ м.

Расход определил *Подсчеты проверил*
Расход обработал

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ТАБЛИЦА ПОПРАВОК
(метры)
на снос троса диаметром 5 *мм* при каплевидных грузах весом от 20 до 60 *кг*

Длина погруженного троса K	Угол отклонения β троса от вертикали 5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	Длина погруженного троса K	Угол отклонения β троса от вертикали 5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°
1	0,00	0,01	0,03	0,04	0,06	0,09	0,11	14	0,02	0,09	0,19	0,34	0,53	0,77	1,04
2	0,01	0,02	0,04	0,07	0,10	0,14	0,18	15	0,03	0,09	0,20	0,36	0,57	0,82	1,11
3	0,01	0,03	0,05	0,09	0,13	0,19	0,25	16	0,03	0,10	0,22	0,39	0,60	0,87	1,18
4	0,01	0,03	0,07	0,11	0,17	0,24	0,33	17	0,03	0,10	0,23	0,41	0,63	0,92	1,25
5	0,01	0,04	0,08	0,13	0,21	0,29	0,40	18	0,03	0,11	0,24	0,43	0,67	0,97	1,32
6	0,01	0,04	0,09	0,16	0,24	0,35	0,47	19	0,03	0,11	0,26	0,45	0,71	1,03	1,39
7	0,01	0,05	0,10	0,19	0,28	0,40	0,54	20	0,03	0,12	0,27	0,47	0,74	1,08	1,47
8	0,02	0,05	0,12	0,20	0,31	0,45	0,61	21	0,04	0,13	0,28	0,50	0,78	1,13	1,54
9	0,02	0,06	0,13	0,23	0,35	0,50	0,68	22	0,04	0,13	0,29	0,52	0,82	1,19	1,62
10	0,02	0,07	0,14	0,25	0,39	0,56	0,76	23	0,04	0,14	0,31	0,55	0,85	1,23	1,69
11	0,02	0,07	0,15	0,27	0,42	0,61	0,83	24	0,04	0,14	0,32	0,57	0,89	1,29	1,76
12	0,02	0,08	0,17	0,29	0,46	0,66	0,90	25	0,04	0,15	0,33	0,59	0,92	1,34	1,83
13	0,02	0,08	0,18	0,32	0,49	0,71	0,97								

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИЗ СПИСКА ЛИТЕРАТУРЫ К 1-МУ ИЗДАНИЮ

1. Аполлов Б. А., инж., и Лукашин М. А., гидр., Практическая гидрометрия твердого расхода потоков, Тифлис, 1929, стр. 383.

2. Аполлов Б. и Лукашин М., Гидрометрия, Тифлис, 1932.

3. Вальман В. Н. инж., Гидролого-гидрометрические исследования в бассейне Волхова, Мат. по исследованию р. Волхова и его бассейна, под ред. инж. В. М. Родевича, вып. VI, Лиг., 1926. Текст и атлас.

4. Владычанский В. Н., Гидрометрия, Ташкент, 1924, стр. 135.

5. «Временная инструкция по устройству гидрометрических станций и постов и ведению работ на них», Труды Ср.-аз. опытно-исследовательского института водного хозяйства, вып. VI, Ташкент, 1929, стр. 59.

6. Гидробатометрические и гидрометрические исследования на рр. Оке и Волге в 1919, 1923 и 1926 гг., изд. НИС УПР. НКПС, вып. 107, Транспечать НКПС, М. 1930.

7. Гириллович Н. А., Гидрометрия, пособие для студентов, Лиг. 1933, стр. 350, (литограф.).

8. Инженерно-гидрологическая станция (организация и методы работ), изд. Научно-исследоват. управления НКПС, вып. 9/103, Транспечать НКПС, М. 1930.

9. Инструкция по гидрометрическим исследованиям в связи с мелиоративными работами, сост. инж. Е. Н. Белкова, Госсельхозгиз, М., 1930.

10. Каталоги фирм: A. Ott (Kempten), Otto Ganser, Gurley, Jul. P. Friez and Sons, Richard.

11. Калинович В. Ю., инж., Гидрометрические работы на реках Ильменского басс. за 1923—1925 гг. Мат. по исследованию р. Волхова, под ред. инж. В. М. Родевича, вып. XIII Лиг. 1926, стр. 253. Текст и атлас.

12. Коллупайло С. И., Гидрометрия, М. 1918, стр. 268 (литогр.).

13. Крылов А. И., инж., Гидрометрия, Мат. по изысканиям и исследованиям рек Волжского басс., Казань, 1918, стр. 194.

14. Обработка расходов воды, изд. Гос. гидрологического института, Лиг., 1931, стр. 68.

15. Огієвський А. В., інж., Елементи раціональної методики гідрометричних дослідів (на малих несудоплавних річках), «Вісті Н-Д. Ін-ту Вод. госп. укр.», т. I, Київ, 1927, стр. 65—82.

16. Огієвський А. В., інж., Питання гідрології за кордоном (Звідомлення про закордонне відрядження до Німеччини, Австрії и Франції 4/IX—20/XII 1927 г.), Київ 1929, стр. 93 с 36 рис.

17. Огиевский А. В., инж., Производство основных гидрометрических работ, Мат. к инструкциям по гидрометрическим работам, Киев, 1930, стр. 214.

18. Огієвський А. В. інж. та Оппоков Е. В., акад., Гідрометрія ДВУ, Київ 1930.

19. Огиевский А. В., проф., Режим стока Верхнего и Среднего Днепра, изд. Днепростроя и НИИВХУ, Киев, 1932, стр. 414.

20. Производство портовых технических изысканий, инструкция по организации работ и их выполнению, ч. 2, вып. I, Транспечать НКПС, М. 1930.

21. Практическое руководство по построению кривой расходов, изд. Гос. гидрологического института, Лиг., 1931, стр. 95.

22. Троицкий А. П., Методы перехода от уровня воды к расходам и их оценка, «Бюлл. Н.-гидротехн. кружка Донск. политехн. института», июль, 1926, Новочеркасск.

23. Hoyt I. G. and Grover N. G., River Discharge, New-York 1921.

24. Jasmund K., Fliessende Gewässer, Handbuch der Ingenieurwissensch., III Teil, Wasserbau, Bd. I., Gewässerkunde, 1911, S. 116.

25. Kirschmer O., Prof. Dr-ing., Das Salzverdünungsverfahren für Wassermessungen, Wasserkraft und Wasserwirtschaft, 1931, H. 18.

26. Kolupaila S., Die Verteilung der Geschwindigkeiten auf den Lotrechten, 1929.

27. Liddel W. A., Stream Gaging, New-Jork, 1927, p. 238.

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
(для 2-го изд.)

1. Среднеазиатский гидрометеорологический институт, Труды гидрометр. части, вып. 1. Материалы к методике гидрометрических работ, под ред. инж. В. Н. Васильева, Ташкент, 1932.

2. Б. Апполлов, Основные методы подсчета твердого расхода потоков, IV Гидрологическая конференция Балтийских стран, Ленинград, сентябрь, 1933.

3. К. Свиташев, Полевой способ определения мутности воды, Записи Гос. гидролог. и-та, т. XI, Л., 1933.

4. Д. И. Абрамович, К производству работ по изучению расхода донных наносов горных рек, Записки Гос. гидролог. и-та, т. XI, Л., 1933.

5. Инж. Н. М. Бочков, Гидрометрическая вертушка, Гидротехгеоинститут, вып. 2, М.—Л., 1934.

6. Инж. В. Н. Ярцев, Инструкции для производства полевых работ и предварительной обработки материала при гидравлических исследованиях на ирригационных каналах, Труды Среднеазиатского научн.-исслед. и-та ирригации, вып. 13, Ташкент, 1934.

7. За рационализацию гидрологии, Сборник изобретений и рационализаторских предложений ГГИ. Ленинград, 1934.

8. ЦНИВТ Наркомвода СССР, Труды института, вып. 106 (на правах рукописи). Производство речных гидро-батометрических наблюдений и их камеральной обработки, Ленинград, 1934 (литограф.).

9. Н. И. Быдин, О методах и точности тарировок вертушек в полевых условиях, Известия Госуд. гидролог. института, № 68, Лиг., 1934.

10. С. И. Воскресенский и И. П. Гозе, Приборы для измерения скоростей течения воды[1], Изд. Госуд. гидрологического ин-та, Л., 1934.

11. Инж. И. А. Кузнецов, Местный сток Заволжья, Труды Всесоюзн. и-та зернового хозяйства, т. V, вып. 2, Саратов, 1935.

12. Г. В. Лопатин, О измерении расходов влекомых наносов, Записки ГГИ, т. XIX, Л., 1935.

13. Б. В. Поляков, Исследование стока взвешенных и донных наносов, Изд. ГГИ, Ленинград, 1935.

14. Н. М. Аксаков, Упрощенные методы определения расхода проносимых водостоком ледниковых образований, Труды и материалы по гидрологии Средней Азии, вып. 1, УЕГМС Средней Азии, ГМИ, Сектор гидрологии, Самарканд-Ташкент, 1935.

15. Центральное управление Единой гидрометеор. службы СССР, Инструкция по организации речной гидрологической станции II разряда., М.—Л., 1935.

16. То же, Инструкция по определению расхода воды вертушкой, Л., 1935.

17. То же, Инструкция для измерения температур воды в поперечных профилях реки, Л., 1935.

18. То же, Инструкция по определению расхода воды батометрами-тахиметрами, Л., 1935.

19. То же, Инструкция для наблюдателя озерной станции основной гидрологической сети, Л., 1936.

20. В. А. Троицкий, О наблюдениях над уклонами поверхности воды, Вестник ЕГМС № 4, 1935.

21. В. М. Сокольников, Определение расхода воды вертушкой в горных потоках и его точность. Записки Гос. гидролог. и-та, т. XV, Л., 1936.

22. Г. А. Платунов и В. М. Сокольников, Переходные поплавочные коэфициенты для горных потоков, Записки Гос. гидролог. ин-та, т. XV, Л., 1936.

23. О. К. Блумберг, Экспериментальные работы 1934 г. по гидрометрии ручьев и скатов, Записки Гос. гидролог. и-та, т. XV, Л., 1936.

24. М. М. Басин. Гидрометрия и основы гидрологии, М.—Л., 1936.

25. Е. В. Близняк. Производство исследований рек, озер и водоразделов, Москва, 4-е изд., 1936.

26. А. В. Огиевский, Гидрология (бассейнов суши), М.—Л., 1936.

27. F. Schaffernak, Hydrographie, Wien, Verl. v. Julius Springer, 1935.

---

[1] Необходимо отметить наличие в некоторых статьях этой книги ряда неверных с нашей точки зрения утверждений, касающихся общих положений о гидрометрических изучениях.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аббот 11
Абрамович Д. И. 318, 337
Аксаков Н. М. 337
Александров И. Г. 12
Аллен 227
Альбрехт 52, 96, 116, 118, 120, 125, 126, 127
Амслер 11, 165, 166
Аполлов Б. А. 310, 311, 316, 318, 319, 320, 322, 324, 336, 337

Базен 179, 212, 214, 215, 218
Басин М. М. 337
Баумгартен 108, 159, 160, 161
Бахметев Б. А. 221
Безу 159
Белкова Е. Н. 336
Берг Л. С. 288
Бернадский 113
Близняк Е. В. 4, 27, 38, 51, 140, 337
Блумберг О. К. 326, 337
Бодров П. П. 230
Богданов А. Т. 233
Болдаков Е. В. 230, 231
Больстер 255, 258—259
Борнеман 215, 216
Бочков Н. М. 337
Брюкнер 14
Брюнинг 107
Быдин Н. И. 177, 178, 337

Вагнер 107
Вальман В. Н. 336
Васильев В. Н. 337
Винтерс 138
Виттинг 20, 124
Владычанский В. Н. 3, 51, 136, 138, 336
Вознесенский П. Е. 232, 233
Вольтман 11, 113, 127, 158
Воскресенский С. В. 55, 337

Гангилье 218, 270
Ганзер 53, 124, 125
Гарляхер 11, 158, 198, 200, 205
Гаусс 244
Гайош 189
Гемфрис 11
Герлей 53, 150
Гизелер 167
Гирриович Н. А. 336
Гозе И. П. 337
Грицук 131
Гровер 107, 336

Данович 164
Дарси 165
Дюбуа 108
Дюпюи 37, 327

Жестовский Н. Е. 135, 138, 142
Жилинский 12
Жиран 223
Жуковский Н. Н. 92, 93, 189, 300, 308, 315

Замбер 67
Зейбт 54

Игнатов 216

Калинович В. Ю. 336
Калинский П. И. 122
Калитин 326
Килли 52, 116, 118, 120, 126, 127
Кириллин П. Н. 77
Киршмер 336
Кисселъ Н. Л. 230, 231
Колле 300
Коллупайло С. И. 3, 102, 103, 160, 161, 162, 273, 287, 336
Копецкий 324
Котес 106
Кочерин 227
Кристен 102
Крылов А. Н. 135, 160, 336
Кузнецов В. В. 20, 55, 124
Кузник И. А. 180, 337
Кульман 205, 206
Кунце 208, 209
Куттер 218, 270

Лаваль 102, 103
Лебро 214
Леже 323
Лелявский Н. С. 99
Ливщиц 164
Лиддель 263, 336
Линдбоэ 220
Лопатин Г. В. 337
Лосиевский 138
Лукашин М. А. 336

Майер 301
Маннинг 220, 270
Менсинг 132
Мариотт 223
Матакевич 220
Мелентьев 106
Мерц 138, 139, 140
Меттлер 221
Мильн 227
Моисеенко С. И. 92, 93, 102, 273

Наглер 149, 150
Негретти 67
Никурадзе 103

Огиевский А. В. 3, 12, 86, 265, 267, 274, 277, 336, 337
Оден 324
Опноков Е. В. 336
Отт 44, 52, 53, 59, 114, 116, 121, 124, 127, 131, 134, 138, 140, 141, 144, 146, 147, 151, 160, 162, 223, 336

Павловский Н. Н. 221
Пито 165
Платунов Г. А. 337
Поляков Б. В. 220, 221, 246, 302, 304, 318, 321, 337
Понселе 217
Прайс 127, 129, 136, 137, 138, 142, 191
Прандтль 103
Прони 107, 108

Ремпф 129
Риттер 107
Рихтер 67
Ришар 53, 121, 127
Робинзон 324
Родевич В. М. 12, 336
Рюльман 37, 327

Сабанин 324
Свинташев К. 305, 337
Секки 72
Симпсон 106
Скачков Б. Н. 210, 287
Соколов 58, 243
Сокольников В. М. 337
Сотченко А. М. 230
Сперанский А. Н. 322
Срибный М. Ф. 218
Стаут 255—258, 259, 262
Стевенс 213
Стивенс 245, 246, 247

Тейберт 319
Тейлор 227
Тихомиров И. К. 4
Толкмитт 37
Томпсон 213, 214
Троицкий А. П. 336
Троицкий В. А. 4, 38, 337
Троицкий С. Н. 259

Уитстон 224
Уивин 223
Усов Н. М. 229

Френсис 111
Фриз 52
Фтили 129
Фусс 54

Хаген 102, 107
Хазен 296
Хаслер 53
Хойт 107, 272, 273, 275, 336
Холль 264
Христен 220

Чебышев 103, 106, 250
Черенков Л. Ф. 139, 143, 316, 318
Чиполетти 213, 214

Шамов 319
Шаффернак 337
Шези 179, 208, 218, 220, 234, 245, 270
Шене 324
Шмидт 159, 160
Штриклер 102, 149
Штромейер 322

Эгли 215
Экман 138, 139, 140
Эпнер 128, 157, 160

Ясмунд 189, 336
Ярнел 149, 150
Ярцев В. Н. 337

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

Амплитуда абсолютная 80
Анализ наносов 323

Бассейны тарировочные 151—153
Батарея 144
Батометры 10, 195, 300—303
Батометры донные 316
Бифилляр 142
Будки лимнографные 55
— -теплушки 98
Бутылка Майера 301, 302

Ванночка донная 316, 317
Вертикалей скоростных обозначение 185—187
Вертикали скоростные 184—187
Вертлюг 119
Вертушек принадлежности 143—147
— тарировка 149—163
— типы 127
— характеристики 127—131
— чувствительность 127, 128, 158
Вертушками работа 182—191
Вертушки Волга 134, 135
— гидрометрические 109, 113—143
— для измерения направления струй 138—142
— Жестовского 135
— Лагу 131
— ИВХ 136
— магнитные 132
— Отта 131, 132, 134, 140, 141
— Прайса 136—138, 142, 148, 150
— Потомак 141
— Р. О. 136
— угон 122
— уравнение 114
— части 114—119
— Экмана 138, 139, 140
Визир 119, 120
Водомер Мильна 227
— Игнатова 216
Водосливами измерение 213
Выбор типа поста 56—57
Выбор створа 91
Высота стока 294

Гидрогеология 9
Гидрограф 291
Гидрография 9
Гидрология 9
Гидрометеорология 9
Гидрометрия 9—10
Гидрометрии история 11
Год гидрологический 78
Годограф 101
График поправок Стаута 256, 257
График типового распределения 86
Грузы 122

Динамометры 109
Дно среднее 212
Дночерпатели 323
Доска распределительная 146
Драги 323
Дюйм водяной 215, 216

Журнал контрольный 63
— тарировки 154
Забереги 68
Зажор 68, 72
Зажора расход фильтрации 233
Записи 72—73, 191—193, 203, 204
Затор 68, 72
Звонок 145
Зимние измерения 193—194
Знаки створные 175

Измерения зимние 193—194
— направления струй 227
— особые случаи 193—195
— расхода 213—217
— — шуги 232
— скоростей 109—110, 175—178, 187—191, 195—213
— шестами 181.
Изобаты 28
Изотахи 108, 169, 205
Измерения зимние 193—194
Изучения гидрометрические 10, 12, 325
Интеграторы — поплавки 112—113, 181—182
История гидрометрии 11

Кабели 144, 145
Квадрильяна 82
Контакт донный 119
Корпус вертушки 116
Коэфициент модульный 295
— стока 295
— шероховатости 212, 219, 234
Кривая обеспеченности 81, 82, 296
— площадей 238, 239
— повторяемости 81
— продолжительности 81
— расходов 15, 235—244, 247, 260, 262, 268, 296
— связи соответственных уровней 88—90, 261
— скоростей 239, 240
— тарировочная 157, 160, 161
— Эппера 128, 160
Кривой расхода перенос 296—297

Лебедки 124, 125
Лед 69, 77, 68—72, 87, 268—269
— донный 77
Ледовые явления 68—72, 87
Ледостав 68
Ледоход 68
Лимнограммы 77
Лимнографы 51—56, 59, 76
Лимнология 9

Лодки 96
Лопасти 114
Лот 18
Льда влияние 268—269
Люльки 95—96

Марки 61
Медиана 82, 83
Механизм счетный 117
Мода 82
Модуль водяной 217
— стока 295
Мостики 94—95, 186
Мутность 303, 304, 306, 308—311

Наблюдатель 64, 66
Наблюдений объем 64
— организация 62
— продолжительность 189—190
— производство 66—72
— точность 63
Наблюдений частота 63
Наблюдения водомерные 15
Наносность 306
Наносов анализ 323
— перемещение 312—315
— распределение 312—315
Наносы 298, 303, 312, 315, 323
— взвешенные 298, 303—311
— донные 315—321
— растворенные 311—312
Наметки 18, 20
Направление струй 227
Нивелирование 42
Ниломеры 11
Нуль графика 31
— наблюдений 30—31

Обеспеченность 81, 82, 296
Оборудование створа 94—98
Обработка полевых данных 178—180
— промеров 26—27
— уровней 75
Обследование рекогносцировочное 34
Озер исследование 34
Океанология 9
Организация гидрометрических работ 14, 15, 16
— изучения наносов 299
— — расходов 171—172, 182—184
— наблюдений 62
Ось вертушки 115
Отстаивание проб 304
Ошибки вычислений 292

Паромы 96—98
Партия промерная 22
Перенос поста 75
Период смачивания 82
Повторяемость 80, 81, 296
Подвес бифилярный 142
Поплавки 109, 110—113
— глубинные 110, 111
— интеграторы 112—113, 181—182
— на ниточке 177, 231
— поверхностные 110
Поплавками работа 172—178
Порог-регулятор 36, 37
Поста выбор 56—57
— оборудование 65
— перенос 75
— поверка 73
Поста ремонт 74
— снабжение 65
Посты водомерные 15, 29, 30, 35, 40
— временные 21, 30
— мостовые 44, 49
— передаточные 49—50
— расходные 29, 35, 40, 64
— самопишущие 51—56
— свайные 44, 47—49, 57, 65
— смешанные 44, 49
— специальные 29, 38, 64
— реечные 44—47, 57, 65
— уклонные 10, 29, 38, 64
— уровенные 10, 29, 38, 40, 63
— цепные 49—50
Потамология 9
Приводка 32
Приложения 327
Продолжительность 81
Промеров обработка 26—27
Промеры 20, 21, 22, 24
— по галсам 25—26
— — продольным профилям 25
— — створам 24—25
— — тросу 22—24
Пульсация 99—100
Пункты наблюдательные 29—59

Работы гидрометрические 11—13, 14, 16
— промерные 18—28
— топографические 40—44
Радиус гидравлический 212
Размер гидравлический 298
Рамка водосливная 214
Расположение гидрометрических створов 39
— пунктов наблюдательных 33, 34
Распределения типового график 86
Растворы 223
Растительности водной влияние 265
Расход воды 9
— твердый 9, 10, 298
— поверхностного льда 233
— шуги 232
Расхода вычисление 178—180, 182, 198—207
— измерение водосливами 213—217
— — гидравлическое 217
— модель 168, 169
— определение 169—171
— приведение к расчетному уровню 207—211
Расходимость 85
Расходы зимние 271—280, 275—290
Реки заболоченные 264
Рейки 18
— автоматические 50
— водомерные 44—47
Рейки крючковые 58
— ледомерные 69
— максимально-минимальные 50—51
Рекогносцировка 34
Реперы 41, 59—62
Русла деформации 321
Русло переменное 171, 239, 255

Сало 68
Сваи 47—48
Секундомер 144
Сети гидрологические 33
Сечение живое 9, 211
Скоростей измерение 109—110
— — батометрами 195
— — вертушками 187—191

Скоростей измерение поплавками 175—178, 196—213
— — трубками 195
— эпюры 108
Скорости на вертикалях 101, 103
— течения 99
Скорость критическая 157
— начальная 128
— средняя 103
Смешения способ 222—227
Снос троса 19, 122, 334
Список технический 62
Способ Больстера 258
— Гарляхера 198—201
Способ изолиний 259
— изотах 205—207
— Кульмана 205—207
— объемный 227
— Огиевского 265—267, 274—285
— одноточечный 229—231
— сравнения 260
— Стаута 256
— тепловой 226
— Хойта 273
Способы аналитические 203—207
Срезка 27
Станции гидрологические 30, 33
— гидрометрические 30, 32—33
Створ гидрометрический 15, 30, 31, 32, 39, 40, 91—98, 174—175, 186
Стока высота 294
— вычисление 290—292, 294—296
— модуль 295
Стрела с блоком 123
Счетчик 146

Тарировка 109, 113, 149, 153, 167
Тарировкой пользование 162
Телефон 145, 146
Температур наблюдение 66, 67, 88
Термометры водяные 67
Титрование 224
Торосы 68
Точность вычислений 292
Триангуляция 41
Тросы 144, 145, 186, 334
Трубка Амслера 166
— Пито-Дарси 165

Угон вертушки 122
— лота 19, 334
— троса 334
Уравнения кривой расхода 247—254
Уровень расчетный 207—211
Уровней обработка 75
Уровень стояние 9, 10
Уровни наиболее постоянные 85
Усовершенствование изучений 325
Уход за вертушками 147—149
— — постом 65
Участок рабочий 173, 174

Фильтрация в зажорах 233
Фильтрование проб 305
Формы записей 72—73, 191—193, 203—204

Характеристики статистические 82—86
Хвост вертушки 117
Хронограф 147

Частости мера 85
Чувствительность вертушек 127—128

Шероховатости коэфициент 212, 219, 234
Шест гидрометрический 111, 181
Штанги 18, 118, 119
Штангодержатели 120
Штыри 62
Шуга 68
Шуги измерение расхода 232

Щуп Тейберта 319
Щупы донные 322

Экстраполяция кривых расходов 244—247
Эпюры средних скоростей 108
— элементарных расходов 199, 201
Эталонирование 150, 155, 156