

626
B-74
43304



ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

В Ы П У С К

25

ИЗДАТЕЛЬСТВО „ФАН“ УЗБЕКСКОЙ ССР



В. Д. ЖУРИН НОМИДАГИ МЕХНАТ ҚИЗИЛ БАЙРОҚ ОРДЕНЛИ СУБ
ПРОБЛЕМАЛАРИ ВА ГИДРОТЕХНИКА ЎРТА ОСИЁ ИЛМИЙ ТЕКШИРИШ
ИНСТИТУТИ

ГИДРОТЕХНИКА МАСАЛАЛАРИ

25-КИТОБ

САНИИВПИГ ЁШ ОЛИМЛАРИНИНГ
XIII КОНФЕРЕНЦИЯСИ МАТЕРИАЛЛАРИ

ЎЗБЕКИСТОН ССР „ФАН“ НАШРИЁТИ

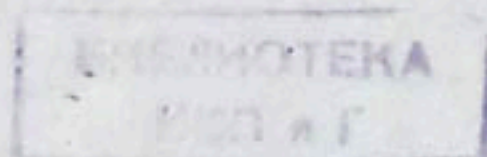
ТОШКЕНТ - 1966

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ
И ГИДРОТЕХНИКИ им. В. Д. ЖУРИНА

В О П Р О С Ы Г И Д Р О Т Е Х Н И К И

ВЫПУСК 25

МАТЕРИАЛЫ XIII КОНФЕРЕНЦИИ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ САНИИВГиГ



ИЗДАТЕЛЬСТВО „ФАН“ УЗБЕКСКОЙ ССР

ТАШКЕНТ - 1966

43304

В сборнике рассматриваются вопросы применения вертикального дренажа, испарения и транспирации, самоочищения водотоков; дается сравнение различных способов орошения хлопчатника, описание новых материалов для изготовления и аппаратуры для статических испытаний труб закрытого горизонтального дренажа.

Сборник рассчитан на специалистов-гидрогеологов, работников эксплуатации оросительных систем.

Редакционная коллегия

З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ (отв. редактор), С. Г. ЗАПРОМЕТОВ, А. А. РАЧИНСКИЙ, Х. А. АСКАРОВ, А. М. МУХАМЕДОВ, У. Ю. ПУЛАТОВ, И. И. ГОРОШКОВ, Б. Е. МИЛЬКИС, М. В. БУТЫРИН, Г. Г. ВАЛЕНТИНИ (секретарь).

Ю. И. СЕЛИВЕРСТОВ

ПОЛИВ ХЛОПЧАТНИКА ПО УДЛИНЕННЫМ БОРОЗДАМ В УСЛОВИЯХ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

На целинных землях важную роль в получении высоких и устойчивых урожаев, а также в предотвращении заболачивания и засоления играет правильная техника полива. Плохая спланированность поливных участков, их неправильная форма, отсутствие совершенных устройств по распределению воды в голове борозд и недостаточная их длина обуславливают: 1) малую производительность труда поливальщиков; 2) большие поливные нормы (до $3000 \text{ м}^3/\text{га}$ вместо проектных $900 - 1200$); 3) неравномерное увлажнение почвы по длине борозд; 4) низкий коэффициент использования воды на поливе; 5) невысокую производительность механизмов на послеполивных обработках.

В 1963 г. отделом орошения Института водных проблем и гидротехники проводились производственные опыты полива хлопчатника по удлиненным бороздам в совхозах № 5 и 6 Голодной степи. В бригаде № 24 длина борозд достигала $200 - 240 \text{ м}$, ширина междурядий $0,6 \text{ м}$; в № 45 — соответственно $350 - 400$ и 1 м . Цель экспериментов — определение наиболее выгодной длины поливных борозд, распределения увлажнения по длине их, величины бороздной струи и производительности труда поливальщиков.

Длина поливных борозд, величина бороздной струи, время полива подбираются так, чтобы полив проводился в установленные сроки заданной нормой при равномерном распределении увлажнения по всей длине борозды. Водопроницаемость почв, уклон и продолжительность смачивания русла — факторы, влияющие на увлажнение борозды. Мы применяли метод подбора элементов техники полива, разработанный А. Н. Ляпиным и проверенный нами в ряде хозяйств. Он основан на определении фактической водопроницаемости почв по скорости добегания воды по сухой борозде. На поливном участке выбирается 9 борозд. Из каждой трех две защитные и одна опытная. Защитные борозды предохраняют от растекания струи. Расход в каждой борозде постоянный и контролируется треугольным водосливом Томсона. Момент добегания струи по створам фиксируется по часам. Опыт считается законченным при добеге струи до конца борозды. Расход в голове борозды и продолжительность подачи воды при заданных длинах борозд и типичных для поливного участка уклонах вычисляется по найденным значениям средней скорости впитывания. Расчеты представлены в таблицах.

Данные таблиц показывают, что элементы техники полива подобраны правильно (исключая участки с неудовлетворительной планиров-

кой, где происходит неравномерное увлажнение по длине борозды). Следует отметить, что при поливе струей 0,35 л/сек на землях с уклоном более 0,008 происходит размыв почв.

Таблица 1

Водопроницаемость почв при поливах по удлиненным бороздам

Полив	Водопроницаемость, м/мин	Средний уклон	Длина борозды, м	Расход в головке борозды, л/сек	Время подачи воды, часы
-------	--------------------------	---------------	------------------	---------------------------------	-------------------------

Бригада № 24

1-й	0,015	0,002	240	0,3	25,2
2-й	0,013	0,002	240	0,3	24,0
3-й	0,013	0,002	240	0,3	24,0

Бригада № 45

1-й	0,014	0,001	400	1,5	10,0
2-й	0,013	0,001	400	1,5	9,7
3-й	0,013	0,001	400	1,5	11,1

Примечание. Учет подаваемой на участок воды производился водосливом Чиполети.

Таблица 2

Поливные нормы по участкам

Полив	Площадь участка, га	Длина борозды, м	Общая подача воды на участок, м³	Поливная норма, м³/га
-------	---------------------	------------------	----------------------------------	-----------------------

Бригада № 24

1-й	20	240	27000	1350
2-й	20	240	25600	1280
3-й	20	240	25000	1250

Бригада № 45

1-й	20	400	35600	1780
2-й	20	400	34000	1700
3-й	20	400	32000	1600

Таблица 3

Время и нормы полива по удлиненным бороздам

Время подачи, часы	Расход, л/сек	м³/га	Впиталось на отрезках, м										всего, м³	сброшено, м³	полезно, м³
			0-50	50-100	100-150	150-200	200-250	250-300	300-350	350-400					

Бригада № 24

25,2	0,2	Подача	3,81	3,51	4,29	3,27	3,30	—	—	—			18,90	30	18,9
		Поливная норма	1270	1170	1430	1040	1200	—	—	—			1260	30	1230

Бригада № 45

12,6	1,5	Подача	10	9,5	8,8	8,6	8,0	7,2	6,9	5,0			6,8	4,0	64,0
		Поливная норма	2000	1900	1760	1720	1600	1440	1380	1000			1700	100	1600

Результаты исследований доказывают возможность применения удлиненных борозд (до 300 м) при хорошей силанированности участка с увеличением поливных норм до 1500 — 1600 м³/га против плановых 1000 — 1100. При этом увеличивается производительность труда поливальщиков в 1,5 — 2 раза, полезная площадь за счет ликвидации ок-арыков в среднем на 1,5% повышается производительность механизмов на обработке примерно на 10%. Все это ведет к повышению урожайности. На опытных участках она составляла 29 (бригада № 24) и

25 ц/га (№ 45). Средняя урожайность соответственно равнялась 20,3 и 23,2 ц/га.

При поливе по удлиненным бороздам с узкими междурядьями и малыми уклонами происходит затопление борозд. Это затягивает время начала послеполивной обработки почвы, кроме того, увеличивается испарение с поверхности полей, что приводит к непроизводительным потерям оросительной воды (поднимаются поливные нормы, сокращаются сроки межполивных периодов).

На основании проведенных исследований в условиях Голодной степи на землях второго года освоения предлагаем элементы техники полива по бороздам (табл. 4).

Таблица 4

Водопроницаемость почво-грунтов	Уклон борозды		Рекомендуемая длина борозды, м		Рекомендуе- мый расход в голове борозды, л/сек	Макси- мальная поливная норма, м ³ /га
	характе- ристика	величина	опти- маль- ная	макси- мально допустимая		
Средняя	Большой	0,03—0,01	150	200	0,10—0,25	1300
	Средний	0,01—0,02	200	250	0,30—0,60	1400
	Малый	< 0,002	150	200	0,40—0,80	1200

В последующие годы орошения возможно удлинение борозд и элементы техники полива будут уточняться. Предлагаемые нами поливные нормы совпадают с рекомендациями Всесоюзного совещания по мелиорации, проходившего в Ташкенте с 28 по 31 января 1964 г. Такие поливные нормы обеспечивают рассоление почво-грунтов.

Х. А. КАДЫРОВ

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА В БУХАРСКОМ ОАЗИСЕ

В настоящей статье приводятся некоторые результаты исследований на опытно-производственном участке вертикального дренажа в Каганском (ныне Бухарском) районе Бухарской области. Опытно-производственный участок при проектировании на его территории вертикального дренажа был выбран на землях, мелиоративное состояние которых считалось крайне неудовлетворительным.

Первоначальным проектом 1952—1953 гг. было предусмотрено строительство 3 опытных скважин, последующими решено довести число их до 28. Фактически на участке площадью в 1830 га построено 9 скважин, из них эксплуатируются 8 с 1960 г. Результаты экспериментов получены при эксплуатации 8 скважин, причем с целью облегчения водно-балансовых расчетов, площадь участка была пересмотрена и доведена до 2500 га.

Опыты проводились нами с 1961 по 1962 гг. включительно. В данной статье мы использовали также результаты исследований предыдущих лет—с 1957 по 1960 гг.

С поверхности участок сложен породами четвертичного возраста, представленными переслаивающимися суглинками, супесями и песками в подошве; мощность их достигает 8—12 м. Коэффициент фильтрации этих отложений равен 0,5—4,0 м/сутки; водоотдача, по нашим определениям,—0,1. Под покровными мелкоземами залегают галечники с песком средней мощностью 4,5—6,0, наибольшей—12 м; коэффициент фильтрации—25—60 м/сутки. Ниже залегает мощная слоистая толща песчаников и глин, относящаяся к туранской свите.

До строительства вертикального дренажа территория участка дренировалась открытой сетью коллекторов густотой 12,8 пог.м/га орошаемой площади, причем большая часть их находилась в неудовлетворительном состоянии. Нельзя не отметить, что работа коллекторов и дрен носит сезонный характер; в дренировании участвуют в основном верхние участки коллекторов и только при условии высокого положения грунтовых вод. Минерализация отводимой коллекторами воды колеблется от 1,6 до 3 г/л; следует отметить, что в эту сеть сбрасываются излишние оросительные воды.

Минерализация грунтовых вод на опытном участке очень пестрая и колеблется в широких пределах, в зависимости от освоенности земель: на интенсивно орошаемых—от 1,5 до 5 г/л, на неорошаемых—от 4 до 20—40. В вертикальном разрезе с глубиной она изменяется следующим образом: воды покровных мелкоземов в основном сильно

минерализованы, хотя предел колебания широк — от 1,5 до 20 и реже 40 г/л; воды гравийно-галечниковых отложений имеют слабую минерализацию с содержанием солей 0,4—1,3 г/л и могут быть использованы на орошение.

Орошаемые земли в основном слабозасоленные, неорошаемые — от средне- до сильнозасоленных, вплоть до солончаков при КЗИ $\approx 0,7$. Засоление земель носит поверхностный характер, особенно губительный для сельскохозяйственных культур, причем наблюдается сезонная динамичность солевого режима, требующая промывных поливов.

Результаты солевых съемок

Засоление почв	VIII		XI—XII.1960		X.1961		X.1962		Изменение засоления почв по отношению к 1960 г., га*		То же в 1962 г. по отношению к 1961 г.
	га	%	га	%	га	%	га	%			
									1961 г.	1962 г.	
Незасоленные и слабозасоленные	1672	70,5	1714	72,3	1673	67,4	1958	78,9	+ 1 — 41	+286 +244	+285
Среднее	181	7,6	163	6,9	340	13,7	263	10,6	+159 +177	+ 72 +100	— 77
Сильное	131	5,5	125	5,2	137	5,5	66	2,7	+ 6 +12	— 65 — 59	— 71
Средне-сильное	142	6,0	118	5,0	88	3,5	54	2,2	—54 —30	— 88 — 64	— 34
Солончаки	217	9,2	223	9,4	225	9,0	116	4,5	+ 8 + 2	—101 —107	—109
Прочие	29	1,2	29	1,2	21	0,9	27	1,1	— 8 — 8	—2 —2	+ 6
Итого	2372	100	2372	100	2484	100	2484		—	—	—

Грунтовые воды в 1957 г. залегали на глубине 1—2 м, а в 1962 г. — 2—3 м и глубже.

В результате эксплуатации 8 скважин мы установили:

1) возможность получения дебита 30—35 л/сек против 20—25 по проекту из каждой;

2) районное понижение зеркала грунтовых вод на 0,84 м против 1957 маловодного, как и 1962 г. и на 0,53 м в 1962 г. по отношению к окружающей участок территории;

3) рассоление почво-грунтов (культурного слоя), что подтвердилось двукратными солевыми съемками на территории участка осенью 1961—1962 гг. и отбором проб почво-грунтов и грунтовых вод из динамических точек и с площадок. Рассоление выразилось в том, что в 1962 г. размер площадей, отнесенных к типу незасоленных и слабозасоленных земель, увеличился на 286 га. Примерно такая же картина наблюдается по остальным грациям засоления почв.

Кроме того, выяснили, что в условиях опытного участка одной скважиной в зависимости от ее дебита 15—40 л/сек дренируется от 47 до 127 га, при радиусе влияния скважин от 300 до 600 м; в результате эксплуатации 8 скважин с территории участка с откаченным

* В числителе — изменение на август, в знаменателе — на октябрь и ноябрь.

объемом воды вынесено солей в 1961—1962 гг. соответственно 8180 и 8439 т.

Для полного решения вопросов мелиорации на участке требуется работа 17 (вместо 28 по проекту) скважин со средним дебитом 30—

35 л/сек; откачиваемой водой, исходя из расчета на 17 скважин, дополнительно можно оросить 500—550 га земель.

Вышеизложенные результаты опытов представлены графически. На рис. 1 отображена динамика уровня грунтовых вод за 1957 и 1962 идентичные по своей водности годы, соответственно по пьезометрам 16,25 и 45,42. Интересно отметить, что указанные пьезометры находились в одинаковых условиях и на равном расстоянии от эксплуатируемой скважины с той лишь разницей, что в 1957 г. откачка по ней велась непродолжительное время, а в 1962 г. скважина

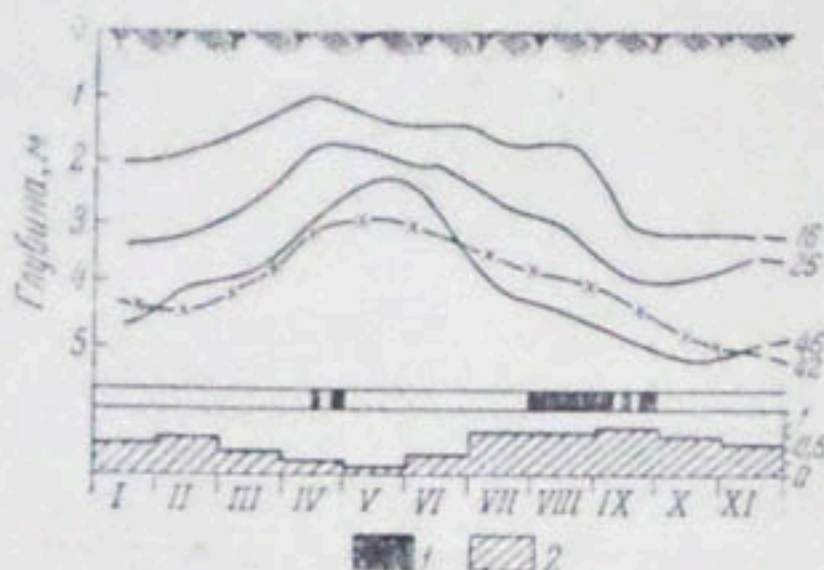


Рис. 1. Динамика уровня грунтовых вод на опытном участке по пьезометрам 16 и 25 (1957 г.), 46 и 42 (1962 г.), расположенном на одинаковом расстоянии от эксплуатируемых скважин 1 и 2 бис.

1 — откачка в 1957 г.; 2 — средние величины КИВ.

работала со средним дебитом 40 л/сек.

Из рис. 2 видно, что уровень грунтовых вод по пьезометру 46 находится в тесной связи с откачками по скважине 1, и в периоды откачек, проводимых с КИВ ≈ 1 , зеркало грунтовых вод дополнительно понижается на 2,1—2,3 м по сравнению с контрольным.

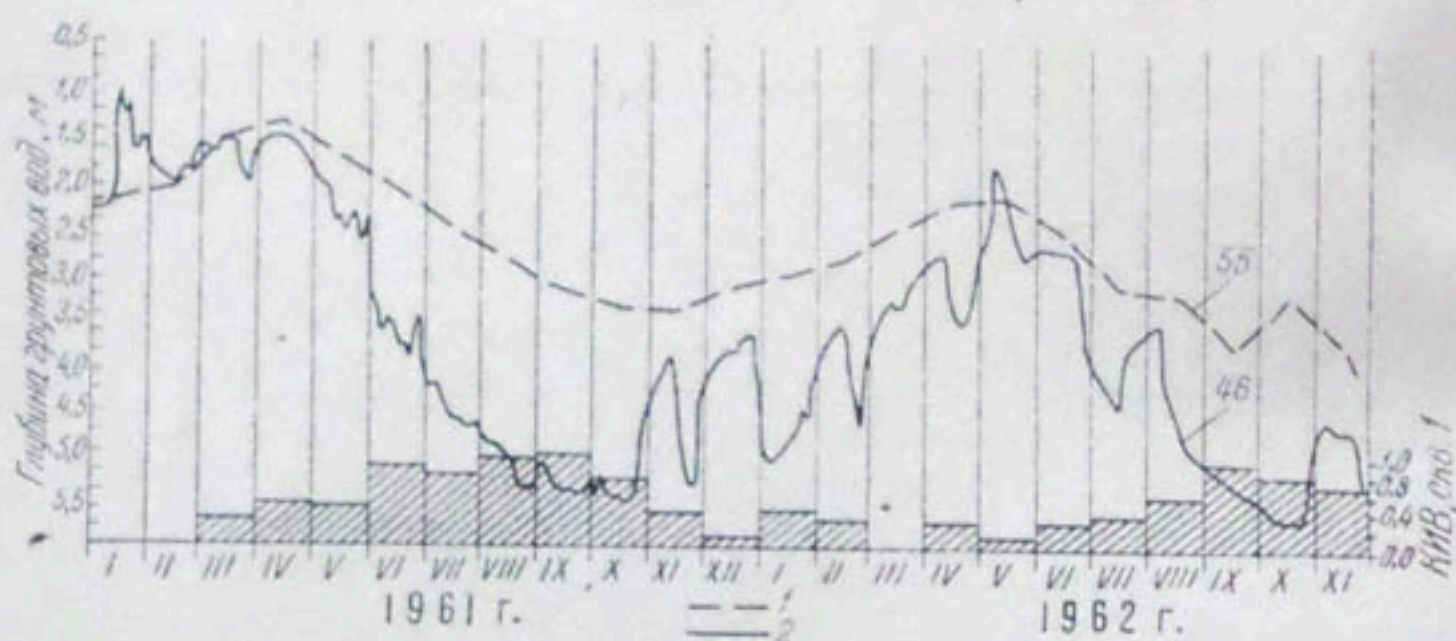


Рис. 2. Динамика уровня грунтовых вод по пьезометрам 55 и 46 в зависимости от откачек.

1 — на расстоянии 900 м от скв. 1; 2 — то же — 207 м.

Учитывая положительные результаты опытов, мы полагаем возможным оздоровление мелиоративного состояния земель Бухарского оазиса строительством системы вертикального дренажа на площади 200 тыс. га.

З. П. ПУШКАРЕВА

ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛУБИННОГО ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВО-ГРУНТОВ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

До настоящего времени почвенно-мелиоративные исследования по выявлению засоления почво-грунтов охватывали лишь верхнюю двух-трех-, реже пятиметровую толщу, не затрагивая более глубокие слои. Однако от характера глубинного засоления почво-грунтов и грунтовых вод в значительной мере зависит направление процессов почвообразования при освоении и орошении земель. Поэтому при проектировании мероприятий по рассолению и освоению земель нельзя базироваться только на данных по засолению верхней толщи.

В течение 1960—1963 гг. мы проводили исследования глубинного засоления почво-грунтов как в новой, так и в старой зоне орошения Голодной степи, в результате которых сделали попытку районирования земель в новоорошаемой зоне. При этом выявлены следующие зоны.

Зона I. Близкое залегание уровня грунтовых вод (3—5 м). Эта зона тянется полосой вдоль ЮГК (совхозы № 4, 5, 6, 3, 8) и представляет собой периферийную часть конуса выноса или область разгрузки подземных вод (рис. 1). По характеру засоления почво-грунтов она подразделяется на две части.

А. Земли с засоленным почвенно-грунтовым профилем на глубину 20 м и более. Они залегают полосой вдоль ЮГК с вытянутой к северо-востоку частью и занимают территории совхозов № 5, север-северо-восточную часть совхоза № 4 и юго-западную совхоза № 8. Характерная черта для почво-грунтов этой зоны — высокая засоленность их с поверхности на исследуемую глубину (20 м). Величина плотного остатка с поверхностных горизонтов колеблется от 2 до 3—4%, с глубиной она почти не снижается, составляя 1,8—2,0% (рис. 2). Запасы водно-растворимых солей равны для 3-, 15-, 20-метровой толщи соответственно 886—912, 4152—4770 и 5277—6062 т/га.

В составе солей содержится большое количество хлористого (0,2—0,4%) и сернокислого (0,5—0,7%) натрия; количество хлора превышает допустимое для развития растений более чем в 10 раз.

Грунтовые воды залегают на глубине 3—5 м; минерализация очень высокая—60—70 г/л. Состав воды хлоридно-сульфатный, к северо-востоку меняется на сульфатно-хлоридный с соотношением

$$\frac{\text{Cl}}{\text{SO}_4} = 1,3 - 1,1.$$

Хотя с переходом на более глубокие горизонты минерализация несколько снижается, все же остается достаточно большой и на глубине 15—20 м составляет 30—50 г/л.

В задачу мелиорации этих земель входит рассоление верхнего (порядка 4—5 м) слоя почво-грунтов и грунтовых вод и снижение уровня последних, что осуществляется грузными промывками (норма 40—50 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$) на фоне мощного дренажа, который смог бы принять и отвести все вымытые солевые растворы.

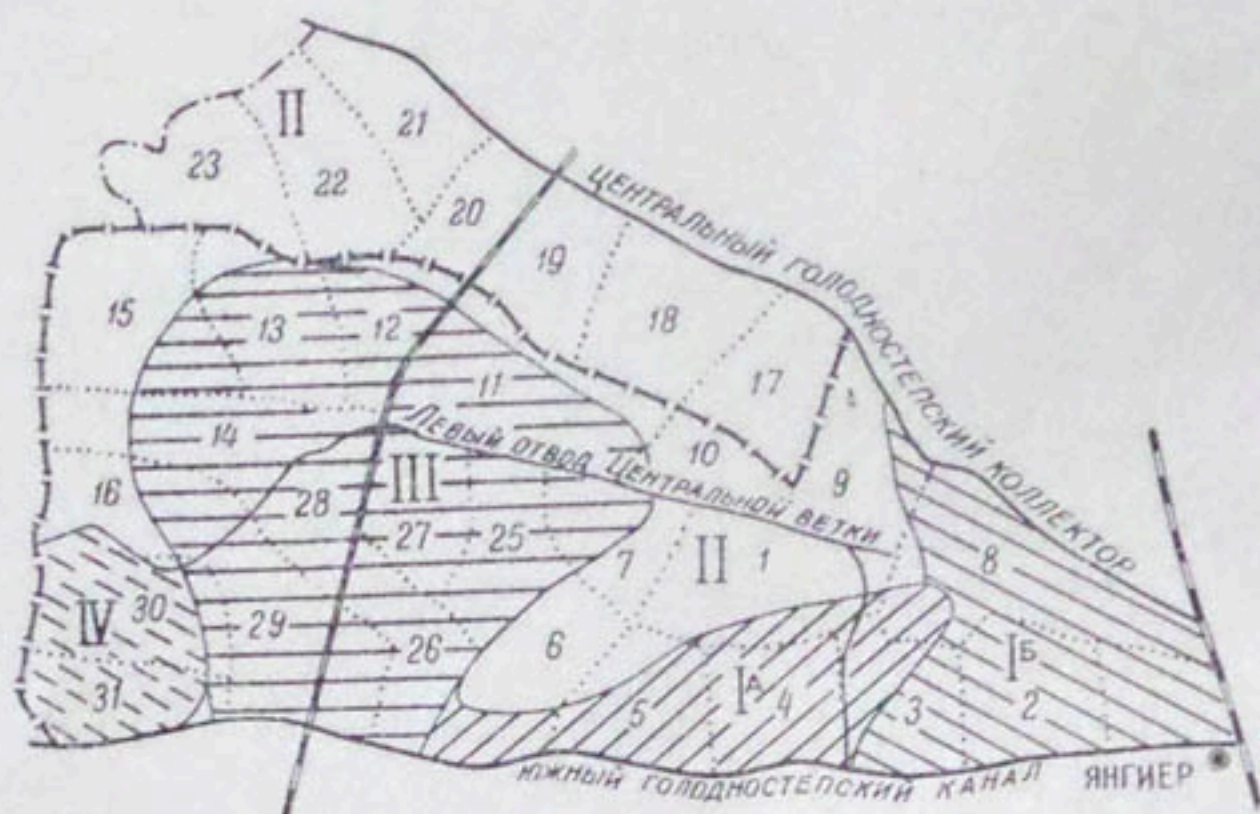


Рис. 1. Схема распределения первичных запасов солей в почво-грунтах новоорошаемой зоны Голодной степи. Римскими цифрами обозначены зоны засоления, арабскими — совхозы.

Б. Земли с засоленным верхним слоем на глубину до 4—5 м и опресненным глубинным профилем. Это восточная часть новоорошаемой зоны Голодной степи — совхозы № 2, 3, часть совхозов № 4 и 8.

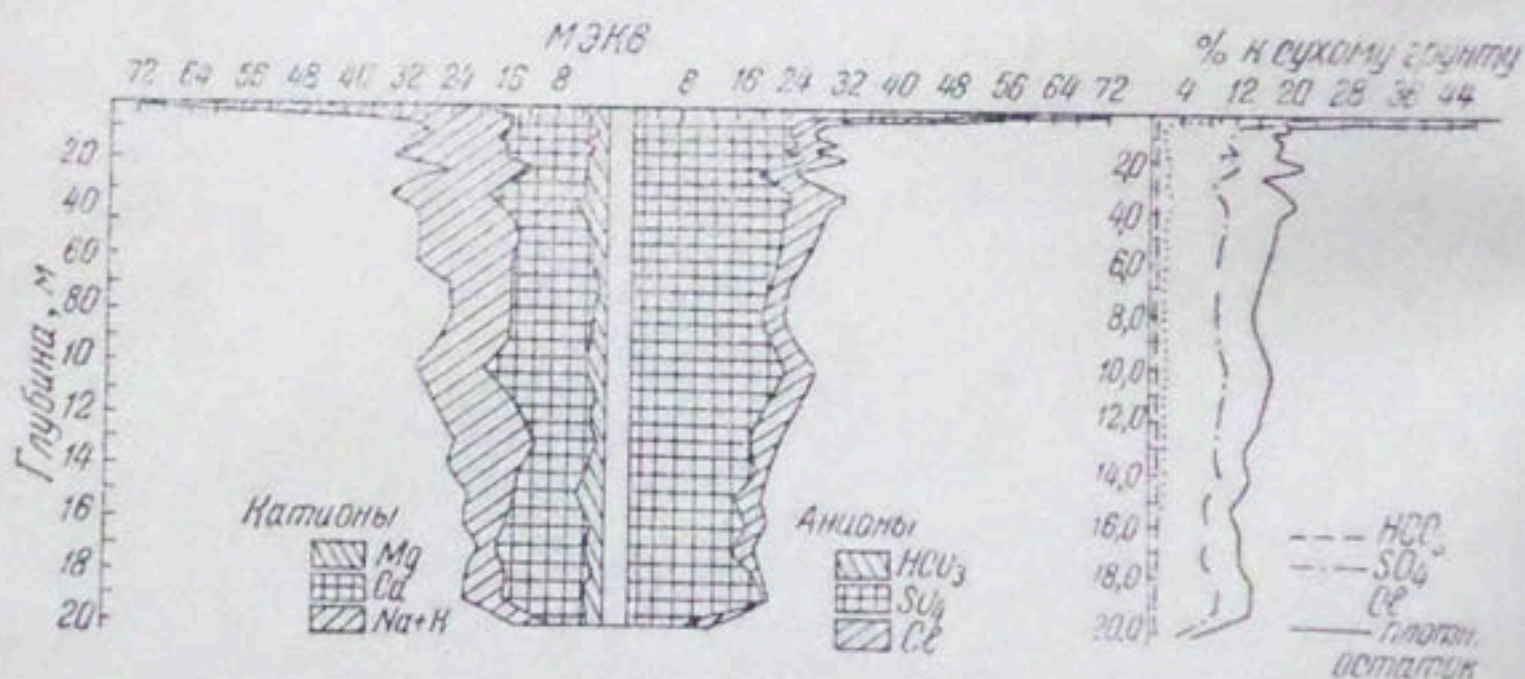


Рис. 2. Распределение легкорастворимых солей в почво-грунтах по точке Ю-5.

Характерная черта для этих почво-грунтов — наличие ясно выраженного солевого максимума на глубине 3—5 м с плотным остатком 1,5—2,0%; глубже профиль опреснен и плотный остаток составляет 0,35—0,40% (рис. 3). В составе солей содержится большое количество сернокислого натрия—0,5—0,8% и сернокислого магния—0,2—0,7%; хлористого натрия очень немного—0,03—0,06%; очень много гипса—0,7—0,9% (расчет по водной вытяжке).

Грунтовые воды залегают на глубине 3—6 м, минерализация до 7—10 г/л. Воды сульфатные с соотношением $\frac{\text{Cl}}{\text{SO}_4} = 0,1 — 0,3$; в катионном отношении преобладает натрий. В южной части территории с глубиной минерализация уменьшается (на глубине 18 м она составляет 3 г/л), в северо-восточной, наоборот, — увеличивается (до 11 г/л на глубине 16 м). В мелиоративном отношении это наиболее благоприятные земли. Запасов солей на 20-метровую толщу здесь в 3—3,5 раза меньше, чем в описанной выше подзоне, хотя в верхних слоях содержание их почти одинаковое.

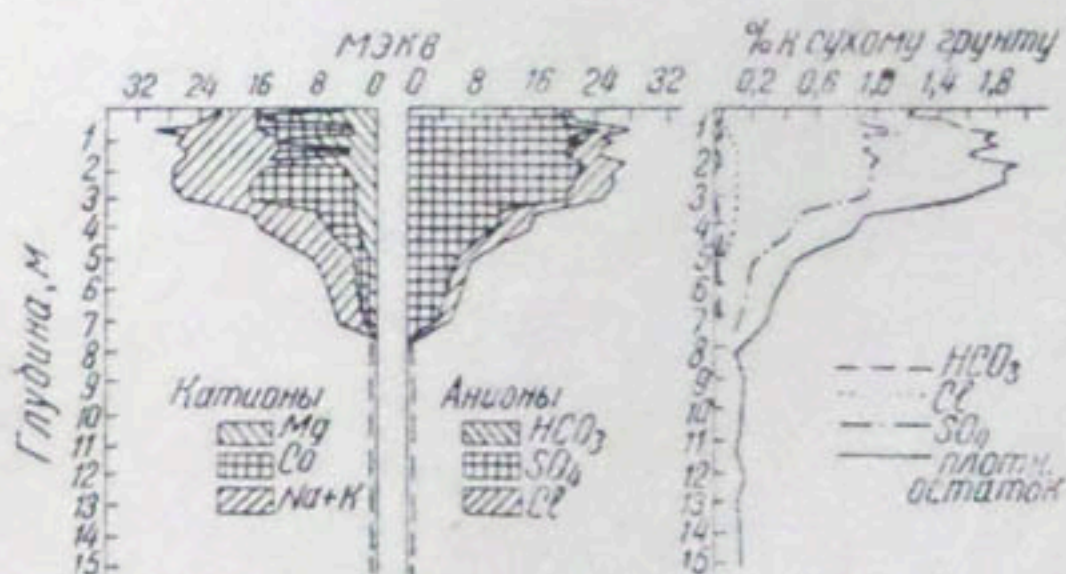


Рис. 3. Распределение легкорастворимых солей в почво-грунтах по точке Ю-7 (совхоз № 3).

Основная задача мелиорации этих земель — ликвидация поверхностного солевого максимума, т. е. рассоление почво-грунтов до глубины 4—5 м с помощью промывок нормой до 20—30 тыс. м³/га на фоне густого и хорошо работающего дренажа. После удаления начальных солевых запасов необходимо поддерживать промывной режим орошения созданием пресной подушки с залеганием уровня грунтовых вод на 1,5—2,0 м, для чего в осенне-зимний период ежегодно следует проводить повторные промывки нормой 2—3 тыс. м³/га.

Зона II. Почво-грунты с опресненным поверхностным (2—3 м) и засоленным глубинным профилем. Земли эти приурочены к Центральному голодностепскому коллектору, а также к северо-западной части Голодной степи. Характерный признак для почво-грунтов этой зоны — наличие опресненного верхнего 1,5—3,0-метрового слоя. Величина плотного остатка не превышает 0,15—0,30% к весу сухого грунта. С 2,5—3,0 м засоление резко увеличивается и по глубине до 20 м равно 0,8—1,5% (рис. 4). Общие запасы солей составляют: на 3-метровую толщу 150—300 т/га, 15-метровую — 1600—2000, 20-метровую — 1600—2500.

Юго-восточная часть территории характеризуется повышенным содержанием в солях хлористого натрия (верхние слои), север-северо-западная — сернокислого натрия и сернокислого магния. Грунтовые воды залегают на глубине 8—14 м. Минерализация их колеблется от 18 до 36 г/л. Грунтовые воды юг-юго-восточной части степи менее минерализованы, чем север-северо-западной. Меняется не только степень минерализации, но и характер засоления их (от хлоридно-сульфатных до сульфатно-хлоридных с соотношением $\frac{\text{Cl}}{\text{SO}_4} = 0,3 — 0,5$ и

$\frac{\text{Cl}}{\text{SO}_4} = 1,1$ соответственно). В мелиоративном отношении это вполне благоприятные земли, но при освоении без строительства искусственного дренажа может развиваться вторичное засоление.

При быстром поднятии уровня грунтовых вод соли с глубинных слоев могут подняться с водой и засолить весь „активный“ слой почво-грунтов. Поэтому для этих земель важно сохранить естественный незасоленный фон почвенного покрова и глубокие грунтовые воды. Почвенно-грунтовая толща здесь сложена более легкими разностями — это краевая часть аллювиального бассейна, характеризующаяся мощными прослойками песка, супеси и легкого суглинка. Поэтому

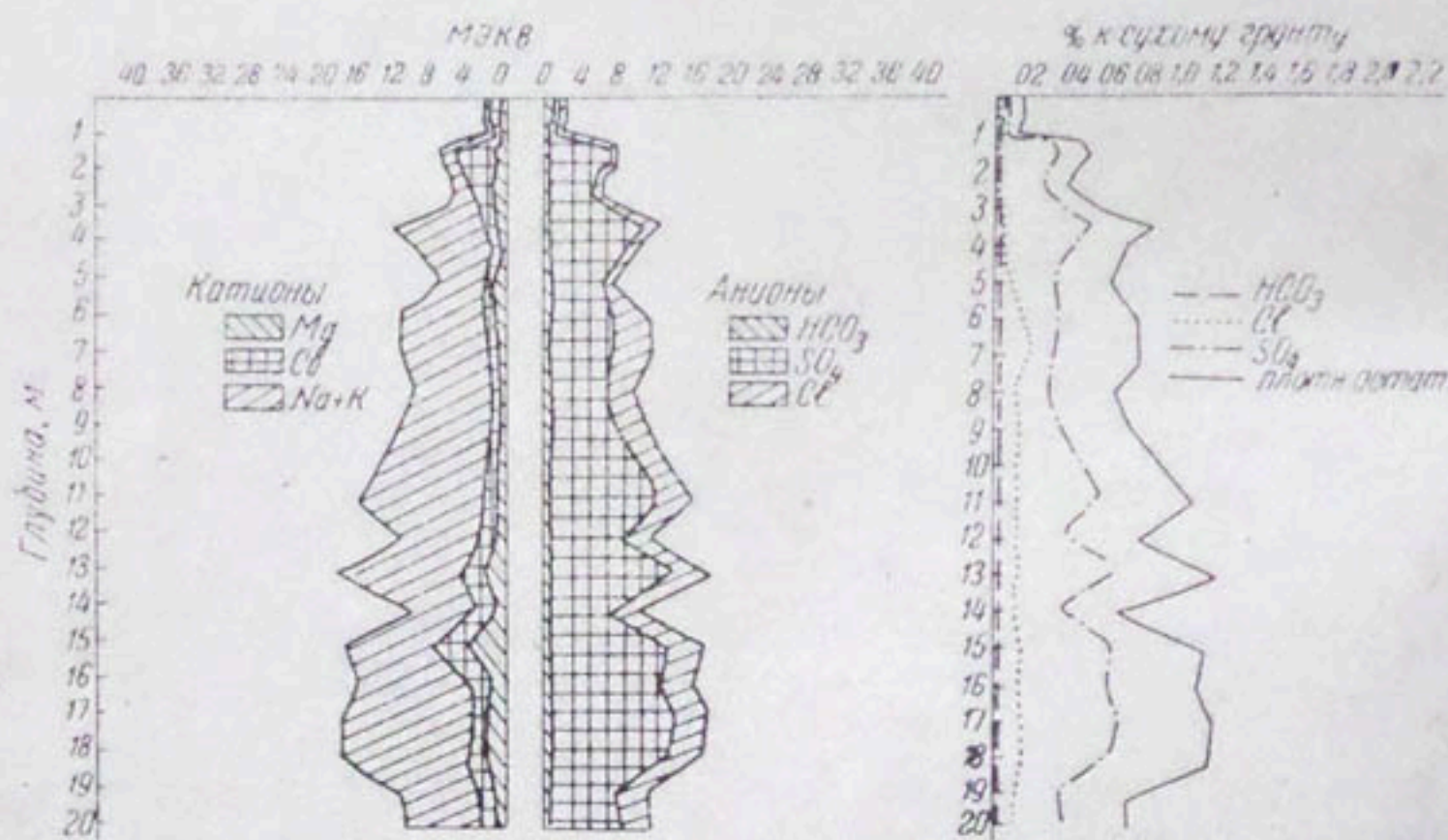


Рис. 4. Распределение легкорастворимых солей в почво-грунтах по точке Ю-14 (совхоз № 19).

наиболее эффективным приемом предотвращения подъема уровня грунтовых вод является строительство вертикального дренажа до начала орошения земель в сочетании с новой техникой полива (при минимальных потерях воды в системах).

Зона III. Почво-грунты с засоленным глубинным профилем и грунтовыми водами на глубине 15–20 м. Почво-грунты этой зоны занимают центральную часть новоорошаемой зоны Голодной степи, для которой характерно глубокое залегание грунтовых вод—15–20 м и более, и подразделяются на две подзоны: восточную и западную. Для восточной характерно наличие большого глубинного засоления—1,0–1,5% по плотному остатку; в западной же засоленность снижена и по всему профилю не превышает 0,4–0,6%. Поверхностные горизонты в большинстве опреснены, плотный остаток не превышает 0,3–0,4% (рис. 5).

По абсолютным запасам солей почво-грунты характеризуются следующим образом: а) в восточной части в 5-, 15-, 20-метровой толще содержится соответственно 83–878, 1271–2735, 4118 m/ga соли; б) в западной части в 5-, 15-, 20-метровой толще — соответственно 283–434, 1026–1667, 1924 m/ga . Обе подзоны имеют повышенное содержание SO_4 —0,6–0,8%, преобладающим компонентом катионов является Na.

В задачу мелиоративных мероприятий данной зоны входит поддержание и дальнейшее увеличение опресненного поверхностного профиля. Для этого необходимо обеспечить слабый промывной режим орошения (потери на фильтрацию 10—15%) на фоне вертикального дренажа, который не позволит подняться грунтовыми водам. При этом должна быть применена наиболее совершенная техника орошения, обеспечивающая минимум фильтрационных потерь.

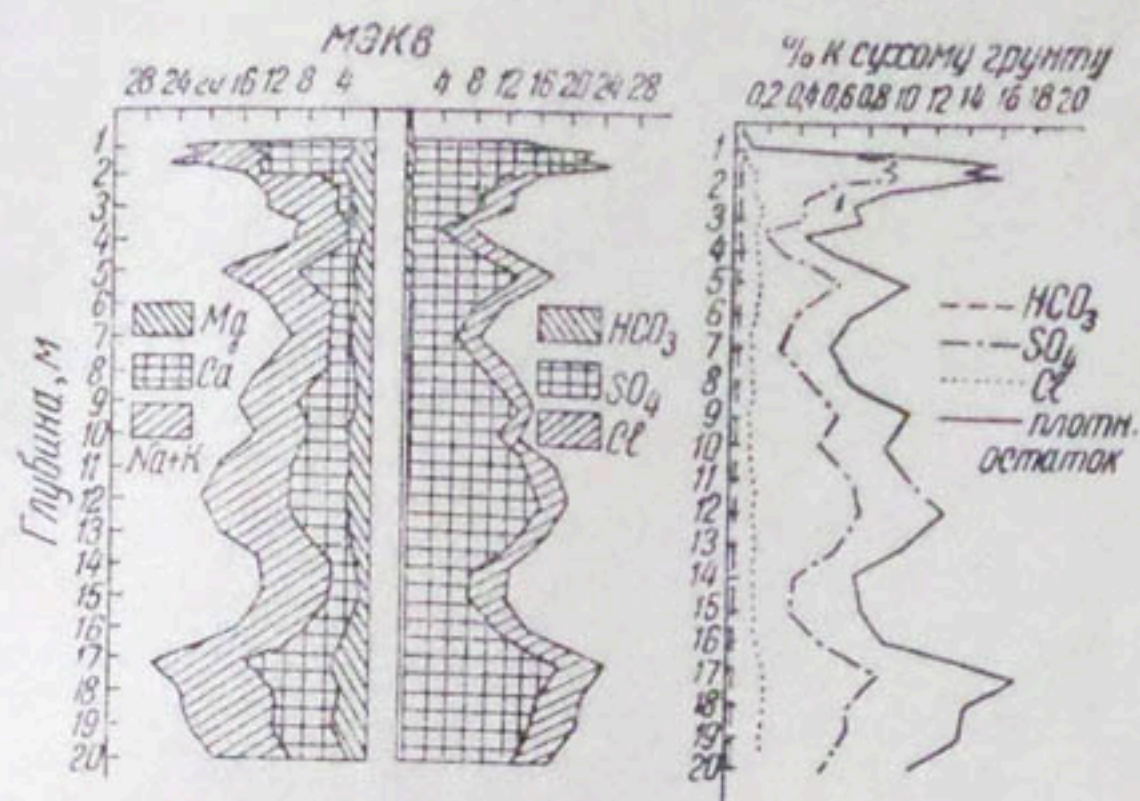


Рис. 5. Распределение легкорастворимых солей в почво-грунтах по точке Ю-3 (совхоз № 7).

Зона IV. Почво-грунты с увеличенным солевым максимумом, растянутым на глубину до 7—8 м. Эта зона занимает небольшую территорию юго-западной части Голодной степи. Отличается ясно выраженным солевым максимумом на глубину 7—9 м, с плотным остатком 1,5—2,0—2,5%. Глубже 9 м профиль опресняется и величина плотного остатка колеблется в пределах 0,4—0,5% (профиль аналогичен изображенному на рис. 3).

Запасы солей в почво-грунтах колеблются в пределах 900—1452 т/га в 5-метровой толще, 1584—2286—в 15 и 1755—2595—в 20-метровой.

Грунтовые воды хлоридно-сульфатные с минерализацией 20 г/л и более залегают на глубине 3—5 м.

Мелиоративные мероприятия на этих землях должны быть аналогичны проводимым в зоне IA.

Краткий обзор глубоких солевых профилей показывает, что первичные запасы солей на территории новой зоны Голодной степи очень разнообразны и развитие их связано с историей геологического формирования этой обширной межгорной котловины.

Г. А. ХАЛМЕТОВ

БАЛАНС ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В НОВОЙ ЗОНЕ ОРОШЕНИЯ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ

С осени 1962 г. Институт водных проблем и гидротехники начал проводить работы по изучению баланса поверхностных вод в новой зоне орошения Голодной степи.

Программой работ на 1963 г. была предусмотрена организация этих исследований на территориях совхозов № 1, 4, 5, 6, 7 (валовая площадь 49,8 га). До освоения здесь в течение определенного времени поддерживалось равновесие между приходом и расходом воды. В отдельные периоды равновесие нарушалось за счет увеличения или уменьшения отдельных элементов баланса. Однако аккумулирующая способность почвенно-грунтовой массы позволяла в разрезе многолетнего цикла сохранять общее равновесие всех элементов баланса.

Орошение новой зоны начато в 1961 г. с постройкой Южного голодностепского канала. При орошении были внесены существенные изменения в естественный водный баланс территории. Появились новые составляющие: подаваемая на поля оросительная вода и коллекторно-дренажный отток. Кроме того, грунтовые воды стали пополняться водой, фильтрующейся из каналов.

В 1963 г. на исследуемой территории мы проводили учет поступления оросительных и оттока грунтовых и сбросных вод. Проведенные работы дали возможность составить ориентировочный водный баланс по отдельным агроучасткам, массивам и всей территории в целом. Основным балансовым уравнением принято уравнение М. М. Крылова.

Наблюдения проводились с 1. I по 1. XI 1963 г. За этот период на территории совхозов № 4, 5 и 6 подано в среднем 432 мм оросительной воды. Потери из межхозяйственных каналов составили 194 мм. Коэффициент полезного действия оросительной системы в целом 0,70—0,78. Сбросные и грунтовые воды отводятся дренажной сетью сравнительно слабо — 135 мм.

Хорошая водопроницаемость почво-грунтов благоприятно влияет на работу дренажной сети в совхозе № 4 (III агроучасток), где отток грунтовых вод достигает 840 мм. Это почти равно поступлению оросительной воды — 834 мм.

Малая удельная протяженность дренажа, слабая водопроницаемость почво-грунтов определяют слабый отток грунтовых вод по коллекторной сети. Так, в совхозе № 5 отток равен 90—110 мм, в южной части совхоза № 6, где примерно такие же гидрогеологические условия — 40—60 мм.

В новых условиях при орошении продолжает оставаться весьма существенным приток со стороны Туркестанского хребта — $8 \text{ м}^3/\text{сек}$ (данные Гидроингео). Определенное нами количество поступления грунтовых вод для территории совхозов 5 и 4 равно $1500 - 5000 \text{ м}^3/\text{га}$. По совхозам 1 и 7 отток дренажных вод отсутствует, грунтовые залегают на глубине $12 - 20 \text{ м}$. С началом орошения происходит интенсивный подъем грунтовых вод до 4 м в год.

Проведенные работы дали возможность сделать некоторые выводы.

1. В условиях орошения складываются новые формы взаимосвязи всех элементов водного и солевого баланса. В новой зоне орошения Голодной степи наблюдается положительное направление баланса: грунтовые воды поднимаются ближе к дневной поверхности, испарение увеличивается. Увеличение или уменьшение орошаемых площадей, оросительных норм, изменение режима орошения сельскохозяйственных культур, их состав и многое другое определяют динамичность водного и связанного с ним солевого баланса.

2. Работа дренажа зависит главным образом от гидрогеологических условий. Так, соотношение поступления и оттока поверхностных вод в совхозе № 4 на III агроучастке составляет $1:1$, а на расположенном рядом I агроучастке совхоза № 5 — $1:0,4$, хотя протяженность коллекторно-дренажной сети в обоих случаях одинакова.

3. Зависимость между поступлением и оттоком поверхностных вод в условиях, аналогичных совхозу № 6, равна $1:0,08$. Это явно недостаточно, поэтому необходимо увеличить протяженность коллекторно-дренажной сети, тем более, что грунтовые воды здесь интенсивно поднимаются.

4. Даже хорошо работающая дренажная система дает весьма слабый эффект опреснения. Например, вынос минеральных солей за год составляет $30 - 60 \text{ т}/\text{га}$ при запасе их в 3-метровой толще $800 - 900 \text{ т}/\text{га}$.

5. Преобладание испарения и транспирации над прочими расходными статьями баланса при близких грунтовых водах в условиях жаркого климата вызывает вторичное засоление. Даже с постройкой дренажа испарение и транспирация составляют в среднем $70 - 80\%$ от всей расходной части баланса. Именно это обстоятельство диктует необходимость всестороннего изучения испарения и транспирации в условиях вновь орошаемых районов и точного их учета в мелиоративных прогнозах.

6. Изучение динамики водного баланса — задача многолетняя. Она разрешается методом последовательного приближения на основе многолетних наблюдений. При этом должна совершенствоваться и методика наблюдений и исследований, которая даст возможность в дальнейшем получать все более точные результаты.

Н. А. ПЕРЕСЫПКИН

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПО ОРОШЕНИЮ ХЛОПЧАТНИКА СПОСОБОМ ДОЖДЕВАНИЯ

На научно-исследовательской станции по технике орошения САННИВПиГ проводилось изучение орошения хлопчатника дождеванием в двух различных по гидрогеологическим условиям районах. Один район имел близкое залегание минерализованных грунтовых вод (совхозы „Пахтаарал“, „Баяут“ № 1). Другой, наоборот, — глубокое и сложный рельеф (колхоз им. Ахунбабаева Янгиюльского района Ташкентской области и экспериментальная база станции).

Для районов с условиями, аналогичными первому, станция совместно с ВНИИГиМ и работниками совхоза „Пахтаарал“ определила наиболее выгодный тип дождевальных машин, отработала организацию и технику полива хлопчатника, выявила рациональные типы оросительной сети, уточнила нормы выработки и оплату труда на поливе, изучила режимы орошения хлопчатника и частично агротехнику, а также разработала методику применения дождевальных машин для выполнения других агроприемов — внесение подкормок и проведение дефолиации хлопчатника.

Преимущество орошения хлопчатника дождеванием, по сравнению с поливом по бороздам, по основным показателям — производительности труда, экономии оросительной воды, ускорению созревания, повышению урожайности хлопчатника и улучшению мелиоративного состояния земель — дало возможность совхозу „Пахтаарал“ перейти полностью на орошение дождеванием. Примеру этого совхоза последовали другие совхозы, например „Алексеевский“, „Джетысай“ Сырдарьинской области. Таким образом, в Сырдарьинской области более 12 тыс. га хлопчатника орошается дождеванием.

В результате широкого применения дождевания в совхозе „Пахтаарал“ производительность агрегата ДДА-100М за смену (8 час.) возросла до 4—5 га, за сутки — до 10—15 и за сезон — до 100—150 га. Общая затрата средств на производство поливов составляет 20—23 руб/га. Трудовые затраты на 1 ц хлопка не превышают 1,6—2,0 чел.-дня. При многолетнем применении дождевания в совхозе „Пахтаарал“ установлена устойчивая прибавка урожая в размере 1,5—2 ц/га против обычного полива. Средства, полученные от дополнительного урожая, полностью покрывают расходы, связанные с дождеванием.

Для условий „Пахтаарала“ сложился следующий режим орошения хлопчатника при дождевании: осенне-зимний промывочный (запасной) полив затоплением по чекам нормой 2000—3000 м³/га и три-четыре вегетационных полива до 400—500 м³/га при оросительной норме 1200—2000 м³/га; урожай при этом равен 35—43 ц/га.

Проведенные за последние два года опыты СоюзНИХИ в колхозе „Северный маяк“ Среднечирчикского района Ташкентской области на темнолуговых почвах с близким залеганием (0,5—1,3 м) пресных грунтовых вод и пестрым микрорельефом также подтвердили преимущества дождевания. Урожай хлопка при дождевании составил 31,3 ц/га, а при поливе по бороздам — 21,2. При этом на каждый центнер сырца израсходовано соответственно 15,1 и 75,1 м³/га воды. Затраты на 1 га хлопчатника при дождевании составили 18,2 руб., при бороздковом поливе 17,6 (разница незначительная — 60 коп., а прибавка урожая при дождевании существенная — 10,1 ц). Трудовые затраты на 1 га при дождевании составили соответственно 2,2 и 3,3 чел.-дня.

Даже далеко не полный перечень преимуществ дождевания над бороздковым поливом дает основание смело и широко внедрять его в районах Средней Азии, по условиям аналогичных Пахтаараду и пойменной части р. Чирчик. В районе со сложным рельефом и глубоким залеганием грунтовых вод орошение хлопчатника дождеванием до 1962 г. находилось в стадии экспериментов.

На экспериментальной базе станции испытаны короткоструйные позиционные дождевальные машины и установки: КДУ-41, КДУ-48, ДМ-20, ДМ-40; два типа дальнеструйных дождевателей: ДДП-30С и ДДН-45, а также дождевальный агрегат ДДА-100М. По производительности и трудоемкости полива короткоструйные позиционные машины оказались малопригодными для условий второго района. Кроме того, они давали одну и ту же структуру дождя, которая характеризовалась следующими средними показателями: интенсивностью около 0,7 мм/мин, коэффициентом равномерности не менее 0,65 и средним диаметром капель не более 1,5 мм.

Для получения 30—40 ц/га хлопка-сырца при орошении дождеванием вышеуказанной структурой дождя необходимо было произвести влагозарядочный полив по бороздам нормой 2500—3000 м³/га и дать не менее 10—15 поливов небольшими нормами, что сокращало межполивной период и увеличивало количество послеполивных обработок. Это обстоятельство создавало напряженность в хозяйстве по уходу за хлопчатником и увеличивало себестоимость хлопка-сырца. Сокращать же число поливов за счет увеличения поливных норм, которые не превышали 250—400 м³/га, было затруднительно из-за появления стока.

Разрыхление почвы перед посевом на глубину 50—60 см с целью увеличения поливных норм в вегетационный период не дало положительных результатов. Уменьшение же интенсивности дождя постановкой вкладышей в дождевальные насадки, расположенные на предельно-расчетном расстоянии одна от другой, не имело смысла из-за резкого снижения коэффициента равномерности дождя и производительности машин.

Применение на поливе хлопчатника дальнеструйных дождевателей ДДП-30С и ДДН-45 со средней интенсивностью 0,34—0,24 мм/мин и более крупной структурой дождя, чем машин типа ДМ, дало возможность увеличить поливные нормы до 500—800 м³/га и сократить число поливов до 7—9 при сохранении такой же урожайности и затрате оросительной нормы, что и при поливе короткоструйными дождевальными установками. Однако работа их в условиях сложного рельефа сопряжена с трудностями по технике полива (расстановка позиций на криволинейном оросителе, индивидуальный подбор интенсивности дождя для каждой позиции и др.).

Проведенные за последние два года исследования по испытанию двухконсольного дождевального агрегата ДДА-100М в условиях

сложного рельефа дали более положительные результаты по сравнению с другими, ранее испытанными дождевальными машинами и установками. Насадки у дождевального агрегата ДДА-100М расположены одна от другой на таком расстоянии, которое позволяет постановкой в них вкладышей изменять действительную интенсивность дождя в больших пределах от 3 до 0,15 мм/мин. К тому же дождевальный агрегат работает в движении, и за счет удлинения бьефа также можно резко понизить среднюю интенсивность дождя и, не снижая расхода воды у агрегата, сохранить его проектную производительность.

Указанное преимущество дождевального агрегата ДДА-100М по сравнению с другими типами дождевальных машин дало возможность:

а) вливать любую поливную норму — от 1,3 м³/га до 1 тыс. и более, сократить число поливов и обработок до экономически выгодных пределов;

б) сохранить проектную производительность дождевального агрегата при условии его работы по оросителю длиной 400—500 м со скоростью 1,2 км/час;

в) получать 30—35 ц/га хлопка-сырца при существующей агротехнике, 5—7 поливах и расходе оросительной воды 4500—6000 м³/га. Указанный расход воды при сокращении числа поливов с 10—14 до 5—7 не увеличился.

Планировочные работы, кроме трасс под дороги и ороситель и их сопряжение с полем, при дождевании отпадают. Однако все другие механизмы, предназначенные для ухода за хлопчатником (пропашной трактор, хлопкоуборочная машина и др.), могут нормально работать на уклонах не более 0,04. При большем же уклоне происходит сползание (смещение) механизмов от оси междурядий и культиваторы подрезают растения, а хлопкоуборочная машина при сборе сбивает хлопок-сырец. Поэтому при орошении дождеванием для поливных участков с уклонами более 0,04 необходимо создавать новые конструкции машин.

Полученные показатели по технике полива, режиму орошения и водопотреблению хлопкового поля (табл. 1 и 2) дают основание к внедрению дождевания на землях с глубоким залеганием грунтовых вод и имеющих приемлемый рельеф для применения дождевальных машин типа ДДА-100М. В результате анализа опытных работ станции по дождеванию в АН УзССР, на выездных ученых советах ВНИИГиМ в совхозе „Пахтаарал“ была дана положительная оценка орошению дождеванием как более совершенному способу полива сельскохозяйственных культур, который необходимо внедрять в производство на больших площадях, базируясь на конструкциях двухконсольного дождевального агрегата ДДА-100М и других более производительных машин.

Первоочередными по переводу на орошение дождеванием необходимо считать районы: 1) расположенные на землях с близким залеганием грунтовых вод, пресных или маломинерализованных; 2) малообеспеченные водой; 3) с малоуклонным и сложным рельефом и 4) площади машинного орошения. В связи с решениями ЦК КПСС и Совета Министров СССР и аналогичными решениями ЦК КП Узбекистана и Совета Министров УзССР о мерах по обеспечению комплексной механизации работ в хлопководстве за 1959—1965 гг. в Узбекистане должно было быть освоено под полив дождеванием 11—12% хлопковой площади; фактически за четыре года освоено около 0,5%.

Анализ опытных и производственных данных показал, что основные причины низкой эффективности и медленного внедрения дождевания в широкое производство следующие:

Поливной режим хлопчатника на опытных участках научно-исследовательской станции по технике орошения в 1963 г.

Способ орошения	Место проведения опыта	Площадь, га	Характеристика участка	Дата посева	Число поливов	Схема полива по фазам развития хлопчатника	Режим орошения из расчета 1 м по фазам развития хлопчатника	Поливная норма, м ³ /га	Оросительная норма, м ³ /га	Густота стояния растений, тыс/га	Урожай, ц/га
Дождевание	Уч. 1, орос. 1	2,72	Грубо спланирован весной 1963 г. Уклоны: продольный 0,002—0,014, поперечный 0,03—0,04	7.V	6	1—2—3—0	66—63—45—29	300—950	4189*	76,0	25,5
	Уч. 1, орос. 2	2,58	Не планировался. Уклоны: продольный 0,01—0,025, поперечный 0,03—0,05	3.V	5	1—2—2—0	65—58—54—32	444—1210	4654	46,4	22,1
	Полигон	4,43	Грубо спланирован весной 1963 г. Уклоны: продольный 0,0033, поперечный 0,02	28.IV	6	1—2—3—0	64—62—48—33	330—1080	3925	65	21,3
	Уч. 2, между орос. 1—2	3,89	Не планировался. Уклоны: продольный и поперечный 0,03—0,07	25.IV	5	1—1—3—0	64—54—49—32	363—1052	4179	67	27,7
По бороздам	Уч. 1а	12,05	Спланирован в 1961 г. Уклоны: продольный 0,02—0,005, поперечный 0,02	16.IV	5	1—1—2—1		1188—2253	8561**	55,1	25,1

* До посева влагозарядка нормой 1070 м³/га не включена в оросительную норму.** Поливы по бороздам со сбросом, составляющим за вегетацию 1280 м³/га, включены в оросительную норму.

а) недостаточное поступление дождевальной техники и отсутствие запасных частей к ней;

б) некачественное изготовление дождевальных машин заводом, некомплектность отгруженных машин (нехватка крепежных частей, растяжек, метизов и др.), несоответствие деталей проектным размерам;

Таблица 2

Баланс водопотребления хлопкового поля по опытам
и урожай хлопка-сырца, ц/га

Место проведения опыта	Горизонт	Статьи расхода воды, м ³ /га				Урожай (общий), ц/га	Расход воды, м ³ /га
		из суммарных слоев почвы	из метровых горизонтов	оросительная вода	суммарный расход		
Уч. 1, орос. 1	0—100	1374	1374	4189	5563	25,5	244
	0—200	2054	680		6243		
	0—300	2161	107		6350		
Уч. 1, орос. 2	0—100	882	882	4664	5546	22,1	291
	0—200	1769	887		6433		
	0—300	2154	385		6818		
Полигон	0—100	1113	1113	3925	5038	21,3	277
	0—200	1984	871		5909		
	0—300	2249	265		6174		
Уч. 2, между орос. 1—2	0—100	1182	1182	4179	5361	27,7	218
	0—200	1875	693		6054		
	0—300	1988	113		6167		
Уч. 1а Борозды	0—100	211	211	7281	7492	25,1	290
	0—200	223	12		7293		
	0—300	229	6		7287		

Примечание. На участке 1, оросителе 1 до посева проведен влагозарядковый полив нормой 1070 м³/га, которая в оросительную воду не включена.

На участке 1а (борозды) в суммарный расход не включен сброс воды с поля 1280 м³/га. Дополнительный запас влаги в слое почвы 0—300 см на участке бороздкового полива был на 1000 м³/га больше, чем на участках дождевания.

в) плохая подготовка участков к поливу, непереустроенная оросительная сеть;

г) недостаток трактористов для обеспечения круглосуточной работы дождевальных агрегатов;

д) недооценка полива дождеванием и проявление консерватизма к внедрению и дальнейшему изучению его со стороны некоторых руководителей совхозов и колхозов.

Для внедрения и развития дождевания в Средней Азии предлагается:

1) разработать перспективный план внедрения дождевания;

2) отпустить средства хозяйствам, осваивающим дождевание, на составление проектов переустройства оросительной сети, необходимые материалы, машины, механизмы;

3) организовать курсы по подготовке трактористов-поливальщиков, мирабов, а также семинары для агрономов, гидротехников, механиков всех хозяйств, переходящих на механизированное орошение дождеванием;

4) освоение новой техники орошения и переустройство оросительной сети вести по этапам, увязывая их с поступлением дождевальных машин;

5) организовать в Средней Азии выпуск дождевальных агрегатов, запасных частей к ним и прочей арматуры.

В условиях сложного рельефа необходимо отработать технику полива и режимы орошения сельскохозяйственных культур среднеструйными, дальнеструйными и мостовыми агрегатами, которые могут работать от закрытой оросительной сети за счет естественного напора воды или напора, создаваемого в трубопроводах насосными станциями, работающими на электроэнергии.

Г. А. АХМЕДОВ, С. К. КАРИМОВ, М. С. СААТОВ, А. К. ХОДЖАЕВ

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ И ТРАНСПИРАЦИИ ХЛОПКОВОГО ПОЛЯ, ОРОШАЕМОГО ДОЖДЕВАНИЕМ И БОРОЗДКОВЫМ ПОЛИВОМ

Расчет величин испарения с поверхности почвы и транспирации растений имеет большое значение для решения многих вопросов, возникающих при планировании и проектировании гидротехнических, мелиоративных и других водохозяйственных мероприятий, с целью повышения точности гидро-и агрометеорологических расчетов и эффективности оперативного агрометеорологического обслуживания сельского хозяйства.

Однако для условий Средней Азии, в частности для Узбекистана, отсутствуют научно обоснованные методы расчета испарения с поверхности орошаемых и неорошаемых земель. В настоящей статье рассматриваются некоторые результаты полевых исследований испарения летом 1963 г. на хлопковых полях НИСТО, орошаемых дождеванием и бороздковым поливом.

На опытных участках посеяли среднеспелый хлопчатник сорта 108-Ф. Орошение первого участка осуществляли дождевальным агрегатом ДДА-100 М; второго — самотечным поливом напуском воды через борозды. Урожай хлопка-сырца на участках составил соответственно 22,1 и 25,1 ц/га. В табл. 1 приводим некоторые показатели фенологических наблюдений.

Таблица 1

Участок	Площадь, га	Дата по- сева	Вид по- сева	Высота растения	Цветение	Созре- ние	После де- фолиации	Урожай, ц/га
Дождевания	4,43	29.IV	Рядковый	12.VI	9.VII	12.IX	12.X	22,1
Бороздково- го полива	12,05	15— 16.IV	Квадратно- гнездовой	8.VI	6.VII	10.IX	10.X	25,1

Примечание. Даты указаны для 50% развития фазы.

Хлопчатник на опытном поле (4,43 га) посеян впервые после планировки. На делянке, расположенной в середине поля, вели наблюдения за:

- 1) суммарной солнечной радиацией,
- 2) рассеянной солнечной радиацией,
- 3) прямой солнечной радиацией,
- 4) отраженной радиацией,
- 5) радиационным балансом,

- 6) температурой и влажностью воздуха и их градиентами в приземном слое атмосферы,
- 7) температурой на поверхности почвы и на разных глубинах,
- 8) скоростью и направлением ветра на двух высотах над исследуемой поверхностью,
- 9) влажностью почвы.

Актинометрические наблюдения на первом участке проводили в соответствии с указаниями „Наставлений гидрометеорологическим станциям и постам“, вып. 5.

Поток прямой солнечной радиации измеряли термоэлектрическим актинометром Савинова — Янишевского; суммарную, рассеянную и отраженную радиации — пиранометром и альбедометром, а радиационный баланс — термоэлектрическим балансомером, разработанным Б. А. Айзенштатом. Приборы подключали к гальванометру ГСА-1.

Температуру и влажность воздуха измеряли на высотах 0,1 (у поверхности), 10, 20, 50, 100 и 200 см от поверхности почвы двумя аспирационными психрометрами: один перемещали снизу вверх, а второй — сверху вниз последовательно по всем высотам. Температуру на поверхности почвы определяли срочными термометрами; на глубинах 5, 10, 15 и 20 см — термометрами Савинова двукратно — перед и после психрометрических наблюдений.

Скорость ветра определяли на высотах 20 и 200 см ручными анемометрами, испарение с поверхности почвы — испарителями малой модели в четырех повторностях. В рабочем положении испарители находились в течение 50–60 мин. При наблюдении в дневные часы брали свежую пробу почвы; в ночные монолиты не менялись. Взвешивание производили на технических весах с точностью до 0,01 г.

Влажность почвы вычисляли на глубинах 0,1, 5, 10, 15, 20 см весовым методом в четырех повторностях.

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСПАРЕНИЯ И ТРАНСПИРАЦИИ

Для определения испарения и транспирации орошаемых и неорошаемых полей применяются методы водного и теплового балансов, градиентных наблюдений, почвенных испарителей и др. Транспирация растений определяется как разность между суммарным испарением и испарением с почвы под растительным покровом. Кроме того, иногда измеряют транспирацию непосредственно почвенными испарителями при покрытии почвы в них влагонепроницаемым слоем или быстрым взвешиванием срезанных веток растений [1, 2, 3, 4, 6, 7, 9].

В наших опытах мы воспользовались методами теплового баланса, градиентных наблюдений, малых почвенных испарителей и методом проф. А. А. Скворцова.

Метод теплового баланса основан на использовании уравнения теплового баланса. Расчет испарения производится по формуле

$$E = \frac{(R - Q) \Delta e}{\Delta e + b \Delta t}, \quad (1)$$

где

E — испарение, мм/час;

R — радиационный баланс, кал/см²·мин;

Q — тепловой поток в почву, имеющий ту же размерность;

Δe — разность абсолютной влажности воздуха на двух высотах;

Δt — разность температуры воздуха на двух высотах;

b — коэффициент, величина которого зависит от высоты и размерности Δe и Δt .

Q рассчитывается по распределению температуры почвы в слое $C - 20$ см по формуле Г. Х. Цейтина [5, 8, 11]:

$$Q(t) = c \cdot \rho [A(t) - B(t)], \quad (2)$$

причем

$$A(t) = 20 [\gamma_1 F(0, t) + \gamma_2 F(5, t) + \gamma_3 F(10, t) + \gamma_4 F(15, t) + \gamma_5 F(20, t)] \text{ град} \cdot \text{см};$$

$$B(t) = \frac{K}{10} \tau \left[\frac{E(t_0) + E(t_n)}{2} + E(t_1) + E(t_2) + \dots + E(t_{n-1}) \right] \text{ град} \cdot \text{см}.$$

Здесь $F(z, t) = T(z, t) - T(z, 0)$ — приращение температуры на уровне z (в см) за промежуток времени $0 - t$;

$E(t_i) = T(20, t_i) - T(10, t_i)$ — разность температур в момент времени t_i на глубине $z = 20$ и 10 см;

$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$ — постоянные числа, зависящие только от глубины $z_1, z_2, \dots, z_n$, на которых измеряется температура;

τ — промежуток времени между наблюдениями, часы;

$c\rho$ — объемная теплоемкость почвы, $\text{кал}/\text{см}^3 \cdot \text{град}$;

K — коэффициент температуропроводности, $\text{см}^2/\text{час}$. Последние две величины определяются по формулам:

$$c\rho = \rho_c \left(c + \frac{w}{100} \right) \quad (3)$$

(ρ_c — плотность почвы, c — удельная теплоемкость, w — влажность)

и

$$K = \frac{\int_0^n [T(z, \tau) - T(z, 0)] U(z) dz}{\int_0^t (T(0, \tau) - T(h, \tau)) d\tau + h \int_0^t \frac{T(H, \tau) - T(h, \tau)}{H - h} d\tau} \quad (4)$$

где

$$U(z) = \begin{cases} z & \text{при } 0 \leq z \leq h \\ \frac{h}{H-h} (H - z) & \text{при } h \leq z \leq H \end{cases}$$

$$(H = 20 \text{ см}, \quad h = 15 \text{ см}).$$

Метод градиентных наблюдений основывается на определении вертикального потока водяного пара от поверхности почвы в атмосферу.

Расчетная формула этого метода имеет вид

$$E = a \cdot k \frac{\partial e}{\partial z}. \quad (5)$$

Здесь E — интенсивность испарения;

K — коэффициент турбулентного обмена, зависящий от скорости ветра и градиента температуры в приземном слое;

$\frac{\partial e}{\partial z}$ — градиент абсолютной влажности воздуха в приземном слое;

a — коэффициент, зависящий от размерностей $\frac{\partial e}{\partial z}$ и от высот, на

которых наблюдаются влажность и температура воздуха.

Наиболее распространенными расчетными схемами этого метода, раскрывающими коэффициент турбулентного обмена, являются схемы

М. И. Будыко, М. П. Тимофеева и А. Р. Константинова. Мы использовали схему Константинова, расчетные формулы которого имеют вид:

$$E = 0,76 \left[1 + b \frac{T_{0,2} - T_2}{(U_2 - U_{0,2})^2} \right] (e_{0,2} - e_2) (U_2 - U_{0,2}) \text{ мм/час}, \quad (6)$$

$$E = 0,134 \left(1 + 0,65 \frac{T_n - T_2}{U_{10}^2} \right) U_{10} (e_n - e_2) \text{ мм/сутки}, \quad (7)$$

$$E = 0,079 \gamma Z_e (U_2 - U_{0,2}) (e_{0,2} - e_2) \text{ мм/час}, \quad (8)$$

причем $\gamma L_e = f(R_i, z_0)$,

$$\text{где } R_i = -0,078 \frac{T_{0,2} - T_2}{(U_{2,0} - U_{0,2})}, \quad z_0 = z_1 \left(\frac{z_2}{z_1} \right)^{\frac{U_{0,2}}{U_2 - U_{0,2}}}$$

или

$$\gamma L_e = \frac{1 + 0,72 \sqrt{1 - 28 (z_0) R_i - 1}}{\sqrt{1 - R_i}}.$$

В этих формулах E — суммарное испарение; U — скорость ветра, м/сек; T и e — температура ($^{\circ}\text{C}$) и влажность воздуха (мб); T_n и e_n — те же величины у поверхности почвы, определяемые вспомогательными графиками, коэффициент b равен 1,4 при сверхравновесной стратификации и 0,05 в инверсиях; z_0 — шероховатость; z — высота наблюдений; R_i — число Ричардсона и γL_e — поправочный коэффициент, зависящий от R_i и z_0 (индексы обозначают высоты наблюдений).

В отличие от схемы Константинова метод определения суммарного испарения, предложенный А. А. Скворцовым, не требует расчета коэффициента турбулентного обмена. Согласно исследованиям Скворцова в процесс тепло-и влагообмена тепловая конвекция, возникающая над нагретыми и увлажненными поверхностями, совершается с образованием расположенных друг над другом слоев — „ярусов“ возрастающей мощности (закон ярусности).

Расчетная формула для определения испарения имеет вид:

$$E = 0,06n (\bar{r}_t L_t + \bar{r}_p L_p). \quad (9)$$

Здесь E — суммарное испарение, мм/час;

$n = \frac{60}{\tau}$ — число колебаний в 1 минуту столбика ртuti смоченного термометра;

$\bar{r}_t$ — среднее количество водяного пара, накапливающегося за какое-то время в нижнем приземном ярусе между его сменами, г/м³ (определяется по графику наблюдений, производимых при помощи аспирационного психрометра на различных высотах над испаряющейся поверхностью);

L_t — высота нижнего приземного яруса, равная 2 м;

$\bar{r}_p$ — среднее количество водяного пара, накапливающегося за определенное время в припочвенном ярусе между его сменами, г/м³,

L_p — высота припочвенного яруса, равная 0,03 м.

Согласно этой формуле испарение рассчитывают на основе наблюдений за распределением абсолютной влажности воздуха над испаряющейся поверхностью. Этот метод применяется в пустынных и полупустынных районах, где закон ярусности конвективного обмена в дневные часы выражен наиболее отчетливо.

Определение суммарного испарения по методу теплового баланса

Расчет испарения по этому методу производили по формуле (5). Поскольку характер деятельной поверхности на хлопковом поле изменяется в процессе развития растений, при анализе полученных материалов выделено 4 периода, характеризующихся, главным образом, высотой роста и фазами развития хлопчатника.

Результаты наблюдений осреднены для каждого периода и за весь вегетационный период [2, 5, 15, 23, 24, 28]. В первый период, до середины июня, основной деятельной поверхностью является почва. Дневные и суточные изменения метеорологических элементов и соотношение их на различных высотах подобны их распределению над поверхностью оголенной или с низкой растительностью.

Таблица 2

Элемент, кал/см ² м ² /га	Буто- низация	Цве- тение	Созре- вание	После- дефолна- ции	В среднем за вегета- ционный период
V	284 48	527 88	517 86	208 35	384 64
V _т	184 31	483 80	475 79	118 20	312 52
V _п	100 17	45 8	42 7	90 15	72 12

Во второй и третий периоды, с середины июня до середины сентября, главной деятельной поверхностью является растительный покров хлопкового поля. В эти периоды над хлопчатником в течение суток преобладает инверсия температуры воздуха; в среде растений наблюдается высокая влажность воздуха.

Таблица 3

Элемент, ккал/га	День	Ночь	Сутки
Радиацион- ный баланс	544 · 10 ⁷	—59 · 10 ⁷	485 · 10 ⁷
Турбулент- ный тепло- обмен с воздухом	—5 · 10 ⁷	—38 · 10 ⁷	—43 · 10 ⁷
Поток тепла в почву	80 · 10 ⁷	—43 · 10 ⁷	37 · 10 ⁷
Затраты тепла на испарение	469 · 10 ⁷	22 · 10 ⁷	491 · 10 ⁷

В четвертый период, с середины сентября и до конца вегетации, основной активной поверхностью остается растительный покров, но уже чувствуется влияние почвы.

Ход составляющих теплового баланса хлопкового поля за период вегетации и их суточные колебания связаны с изменением общих размеров растений, режима и способов орошения и агротехнических мероприятий.

В табл. 2 приведены дневные суммы суммарного испарения V, транспирации V_т и испарения с поверхности почвы V_п на хлопковом поле, орошаемом дождеванием, в среднем по периодам и за весь вегетационный период. Испарение с поверхности почвы под хлопчатником измеряли малыми почвенными испарителями в 4 повторностях. Транспирацию хлопчатника определяли как разность суммарного испарения с поверхности почвы.

Результаты анализа собранных полевых материалов и расчета отдельных составляющих теплового баланса в среднем по периодам позволяют оценить их величины в сумме за день, ночь, сутки и за весь вегетационный период (табл. 3).

За вегетационный период с хлопкового поля, орошаемого дождеванием, за день, ночь и сутки испарилось соответственно 781, 37 и 848 мм воды; из них 146 мм (около 18%) — непосредственно с поверхности почвы под хлопчатником и 672 мм (около 82%) — путем транспирации (табл. 4, 5).

Таблица 4

Фаза развития	Транспирация, мм	Испарение с поверхности почвы, мм	Σ
Бутонизация	88	47	135
Цветение	256	22	278
Созревание	244	20	264
После дефолиации	84	57	141
Итого	672	146	818

Таблица 5

Период	VI	VII	VIII	IX	X	Σ
День	138	165	188	172	118	781
Ночь	6	7	10	8	6	37
Сутки	144	172	192	180	124	848

Определение суммарного испарения по методу А. А. Скворцова

Расчет испарения по этому методу выполняли, во-первых, определением числа смен нижнего приземного яруса и, во-вторых, наблюдениями за распределением абсолютной влажности воздуха над испаряющейся поверхностью по формуле (9).

Разность между средним влагосодержанием и содержанием пара на верхней границе яруса дает среднее накопление пара в ярусе за время между его сменами, т. е. величину $\bar{r}_t$ (рисунок). За r_p принимаем разность между влажностью воздуха над испаряющейся поверхностью и на высоте 10 см. По полученным разностям вычисляем накопление пара в ярусах мощностью 2,0 и 0,03 м, т. е. величины $\bar{r}_t L_t$ и $\bar{r}_p L_p$.

Наибольшую сложность в методе Скворцова представляет определение числа смен нижнего приземного яруса по колебаниям столбика ртути смоченного термометра, т. е. вычисление первого сомножителя уравнения.

Это требует напряженного внимания и весьма утомительно, так как наблюдателю приходится в течение нескольких минут непрерывно следить за движением столбика ртути, чтобы по секундомеру определить продолжительность трех или в последующее время двух колебаний.

Ниже приводим результаты определения суммарного испарения по методу А. А. Скворцова.

Величина суммарного испарения с поверхности хлопкового поля, орошаемого дождеванием, в июне равна 110 мм, бороздковым поливом — 80; в июле, августе, сентябре и октябре — соответственно 130, 150, 136, 94, 620 мм при орошении дождеванием и 126, 144, 132, 78, 560 мм — бороздковым поливом.

Как видим, на участке дождевания испарение выше.

В середине вегетационного периода, когда растения хорошо развиты и происходит обильное увлажнение полей, испарение происходит интенсивнее, чем в начале и в конце периода.

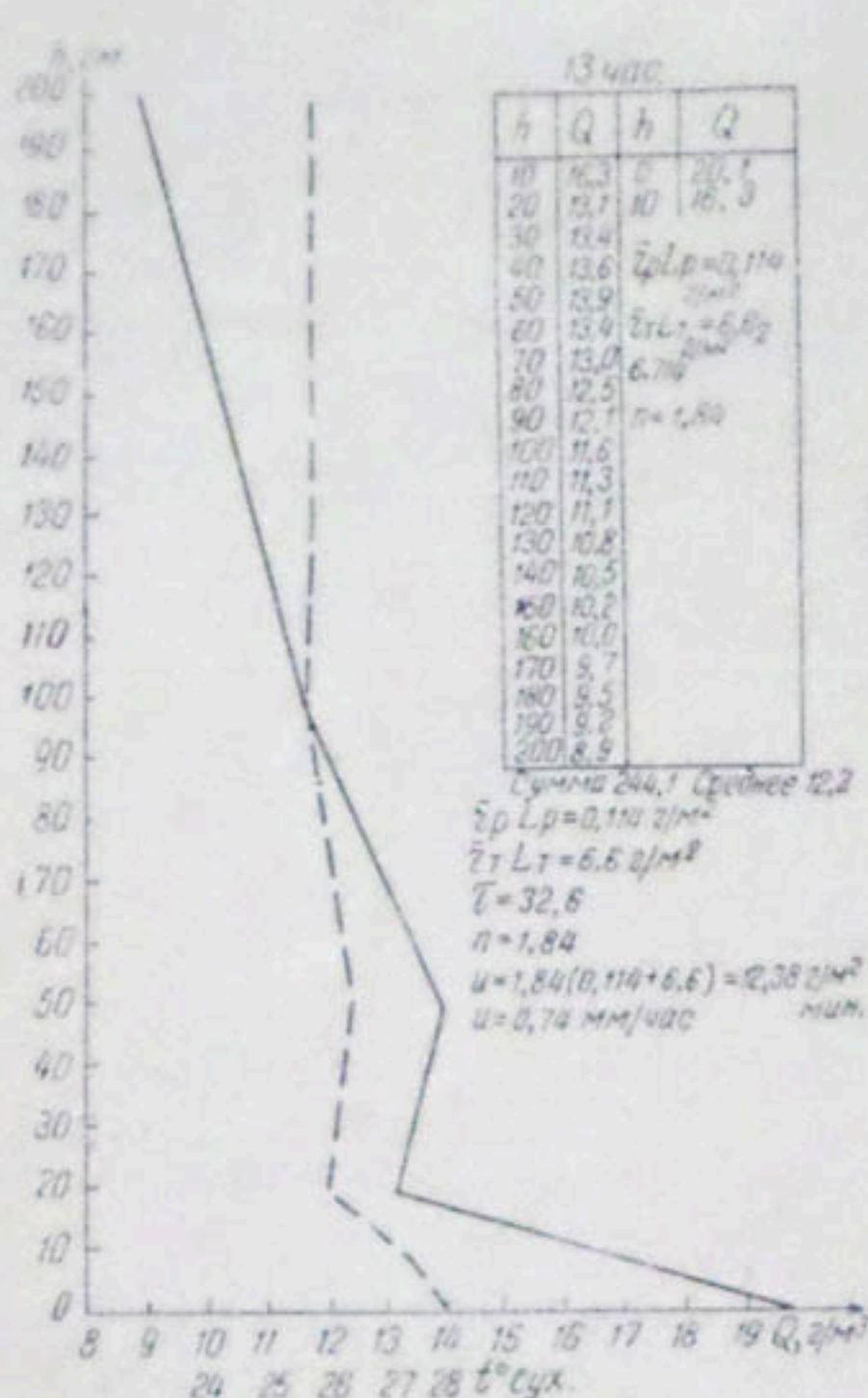


Рис. 1. Графический способ расчета суммарного испарения по методу А. А. Скворцова с хлопкового поля, орошаемого бороздковым поливом.

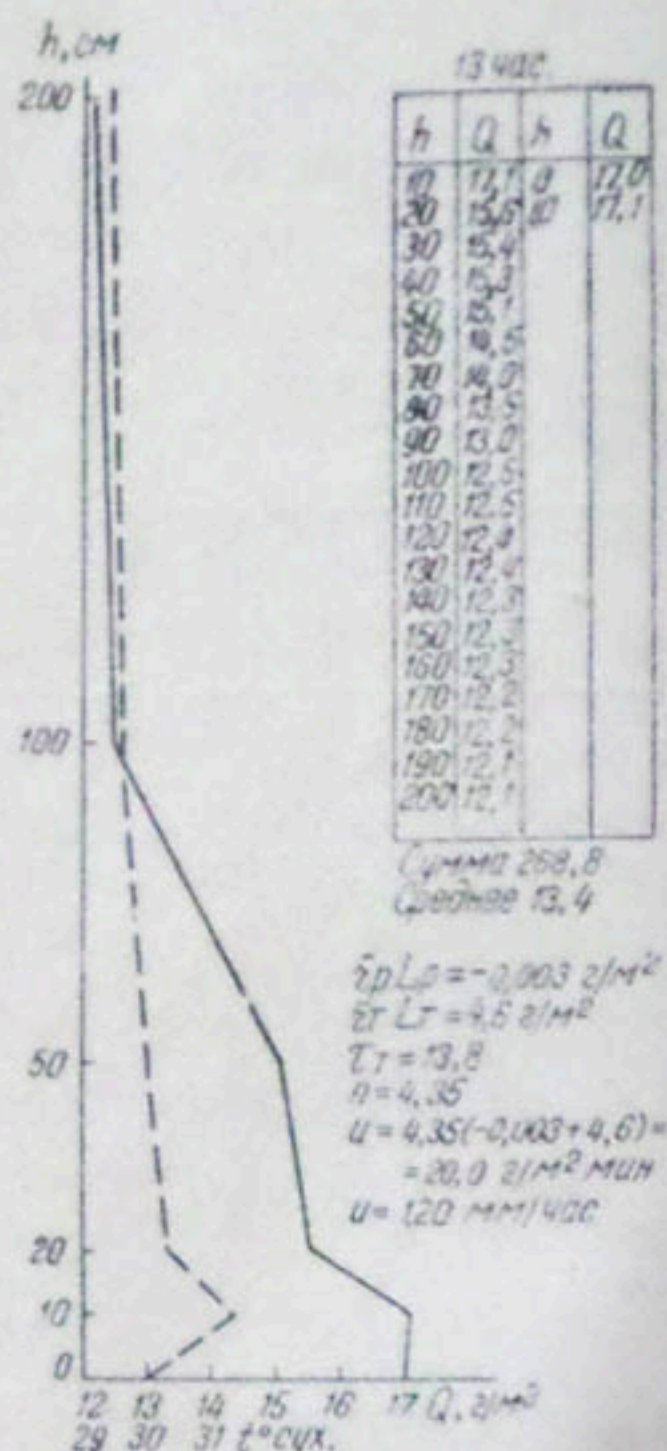


Рис. 2. Графический способ расчета суммарного испарения по методу А. А. Скворцова с хлопкового поля, орошаемого дождеванием.

Определение суммарного испарения по методу градиентных наблюдений

Метод А. Р. Константинова позволяет рассчитать величину суммарного испарения по данным стандартных наблюдений на метеорологических станциях. В основе метода — градиентная схема расчета испарения. Для использования схемы необходимо знать скорость ветра на одной или двух высотах, температуру и влажность воздуха на двух высотах.

При расчете суммарного испарения с поверхности хлопкового поля, орошаемого бороздковым поливом и дождеванием, мы воспользовались формулами (6, 7, 8) А. Р. Константинова (табл. 6).

На участке дождевания суммарное испарение ниже.

Приведем сводную таблицу, показывающую результаты подсчета суммарного испарения (мм) с хлопкового поля, орошаемого бороздковым поливом, за дневные часы с июня по октябрь (табл. 7).

По расчетным данным трудно судить, какое поле теряет больше воды на суммарное испарение: по методу Скворцова больше испаряет участок дождевания, по формулам Константинова наоборот — участок

бороздкового полива. По-видимому, правильнее считать, что оба участка (и дождевания, и бороздкового полива) теряют на испарение одинаковое количество воды.

Оросительную воду, подаваемую на хлопковое поле, орошаемое дождеванием, измеряли непосредственно на поле дождемерными станками. В результате установили, что в течение вегетационного периода опытный участок получил 661 мм воды. Следует учесть, что в

Таблица 6

Формула	V	VI	VII	VIII	IX	X	Σ
Бороздковый полив							
6	80	109	128	148	134	94	693
7	84	90	140	182	147	86	729
8	77	84	128	167	134	79	669
Дождевание							
6		92	113	130	119	83	537
7		106	129	149	136	95	615
8		102	122	140	128	88	580

середине хлопкового поля выкопан канал — временный ороситель для подачи воды на дождевальный агрегат. Возможно, что этот ороситель теряет большое количество воды которое идет на подпитывание хлопчатника близлежащих участков. Отсюда может быть понятна разница между количеством оросительной воды и величиной суммарного испарения.

Оросительную воду, подаваемую на хлопковое поле, орошаемое бороздковым поливом, измеряли в голове оросителя самолишущими приборами, а также водосливами.

Таблица 7

Участок	Метод	VI	VII	VIII	IX	X	Σ
Дождевания	Теплового баланса	138	165	188	172	118	781
	Скворцова	110	130	150	136	94	620
	Константинова:						
	Формула 6	92	113	130	119	83	537
	Формула 7	106	129	149	136	95	615
Бороздкового полива	Формула 8	102	122	140	128	88	580
	Скворцова	80	126	144	132	78	560
	Константинова:						
	Формула 6	109	128	148	134	94	613
	Формула 7	90	140	182	147	86	645
	Формула 8	84	128	167	134	79	592

По результатам замеров, в течение вегетационного периода поле получило 856 мм воды. Кроме того, в начале вегетационного периода (конец апреля) на поле было подано дополнительно 50—60 мм воды для уничтожения корки. Таким образом, участок бороздкового полива получил более 900 мм воды. Следовательно, около 100 мм воды идет на фильтрацию в глубокие слои почвы.

Мы привели некоторые результаты первого года исследований. Подобные эксперименты продолжаются.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айзенштат Б. А. Изменение теплового баланса деятельной поверхности при орошении, Труды ГГО, вып. 39 (101), Л., Гидрометеиздат, 1953.
 2. Ахмедов Г. А. О тепловом балансе люцернового поля, Вопросы гидротехники, вып. 9, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1962.
 3. Будыко М. И. Испарение в естественных условиях, Л., Гидрометеиздат, 1948.
 4. Будыко М. И. Тепловой баланс земной поверхности, Л., Гидрометеиздат, 1956.
 5. Зуев М. В. Микроклимат хлопкового поля, Л., Гидрометеиздат, 1956.
 6. Иванов В. Г. Испарение в естественных условиях, Л.—М., Гидрометеиздат, 1939.
 7. Константинов А. Р. Испарение в природе, Л., Гидрометеиздат, 1963.
 8. Муминов Ф. А. Тепловой баланс и метеорологический режим картофельного поля, Л., Гидрометеиздат, 1963.
 9. Пахчянян Г. Г. Некоторые результаты определения испарения на сельскохозяйственных полях в бассейне озера Севан, Труды I Закавказской конференции молодых ученых, Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1960.
 10. Скворцов А. А. Об испарении и обмене в приземном слое атмосферы, Труды Ин-та энергетики АН УзССР, вып. 1, Ташкент, 1947.
 11. Цейтин Г. Х. К вопросу об определении некоторых тепловых свойств почвы, Труды ГГО, вып. 39 (101), Л., Гидрометеиздат, 1953.
-

Э. Д. ЧОЛПАНКУЛОВ

ИЗУЧЕНИЕ ИСПАРЕНИЯ С ПОВЕРХНОСТИ ТУЯБУГУЗСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

При водохозяйственном проектировании, кроме гидрологических сведений, необходимы также данные о потерях воды на испарение. Определение величины испарения важно при проектировании водохранилищ и создании районов искусственного орошения. Единых методов расчета испарения для условий Средней Азии не существует.

Отделом гидрологии Института водных проблем и гидротехники в течение июля—сентября 1963 г. проводились работы на Туябугузском водохранилище, с целью изучения испарения с его поверхности в зоне интенсивного орошения.

Туябугузское водохранилище (в 44 км от Ташкента) образовано перекрытием русла р. Ангрен земляной плотинной, верховой откос которой защищен от размывания монолитными железобетонными плитами. Создание его улучшило водообеспечение Среднечирчикского и Нижнечирчикского районов Ташкентской области. Водами водохранилища орошаются 62000 га земли.

Туябугузское водохранилище расположено в равнинной части долины р. Ангрен. Ширина долины в створе плотины 250 м, а выше и ниже плотины достигает 1 км. Общая емкость 250 млн. м³, площадь зеркала при максимальном наполнении (отметка 393,5)—20,4 млн. м², средняя глубина 12,3 м. В результате забора воды на орошение емкость водохранилища снижается (отметка 368,8) до 10 млн. м³, при этом площадь зеркала уменьшается до 2,3 млн. м², а средняя глубина до 4,4 м.

В соответствии с программой исследования на берегу в 400 м от уреза воды оборудовали водоиспарительную площадку третьего типа. Наблюдения велись по программе метеорологических станций второго разряда и были дополнены специальными микроклиматическими наблюдениями, предусматривающими изучение температуры, влажности и скорости ветра на различных высотах над испаряющей поверхностью.

Метеорологические наблюдения на водоеме производили с лодки, удаленной от берега на 400 м, в 1, 7, 13 и 19 час. местного средне-солнечного времени на высоте 0,5 и 2,0 м над поверхностью воды. Температуру и влажность воздуха измеряли аспирационным психрометром, скорость ветра—ручным чашечным анемометром. На водоиспарительной площадке установили испаритель ГИ-3000 в комплексе с дождемером той же площади. Наблюдения по испарителю проводили в 7 и 19 час. Поплавковым и родниковым термометрами измеряли

температуру воды в испарителе на глубине 0,01 м и в водоеме на глубине 0,10 и 0,40 м при выдержке приборов 4—5 мин.; отсчеты производили с точностью до 0,1°. Результаты измерений (среднемесячные) температуры воды, скорости ветра и влажности

Таблица 1

Месяц	Температура воздуха, °С	Абсолютная влажность, мб	Скорость ветра, м/сек	Температура воды (°С) на глубине	
				0,1 м	0,4 м
VII	27,9	17,1	3,0	26,5	26,5
VIII	24,4	15,8	2,5	25,6	25,0
IX	20,6	11,9	2,4	20,8	20,7

воздуха на высоте 2 м, а также воды на глубине 0,10 и 0,40 м приведены в табл. 1.

Климатические условия рассматриваемого района достаточно полно характеризуют данные наблюдений метеостанции „Тойтепа“, расположенной в 10 км к северо-востоку от водохранилища.

Согласно этим данным, средняя многолетняя температура воздуха выше 10°; самый теплый месяц — июль ($t_{\text{ср}}$ выше 25°); холодный — январь ($t_{\text{ср}}$ ниже 0°). В отдельные годы среднемесячная температура воздуха отличается от нормы; так, в 1963 г. она была на 1—2° выше средней многолетней.

Абсолютная влажность воздуха выше 5 мб, а с апреля по сентябрь — выше 10 мб. Максимум абсолютной влажности и минимум относительной наблюдается в июле. В 1963 г. средняя месячная влажность воздуха также была выше нормы. Недостаток насыщения в течение года меняется от 1,3 до 18,7 мб. Скорость ветра в течение года меняется от 1,3 до 2 м/сек; зимой здесь преобладают восточные и юго-восточные ветры, летом — северо-западные. Количество осадков достигает 380 мм. В табл. 2 приведены результаты наблюдений по испарителю за июль — сентябрь 1963 г.

Таблица 2

Декада	Июль			Август			Сентябрь		
	19—7 ч.	7—19 ч.	Сумма	19—7 ч.	7—19 ч.	Сумма	19—7 ч.	7—19 ч.	Сумма
I	29	38	67	32	34	66	28	29	57
II	41	40	81	33	33	66	24	23	47
III	38	44	82	33	32	65	20	20	40
Сумма за месяц	108	122	230	98	99	197	72	72	144

Изучая испарение на Каттакурганском, Учкизилском и Кайраккумском водохранилищах, Б. Е. Милькис вывел переходный коэффициент величины испарения, равный 0,87. Для получения величины испарения с поверхности водоема в данные по испарителю введем вышеуказанный коэффициент.

Декада	Июль	Август	Сентябрь
I	58	57	50
II	71	57	41
III	71	57	35
Сумма за месяц	200	171	126

Как видно из приведенных данных, с поверхности водохранилища испаряется 497 мм воды.

Сделана попытка получить внутригодовое распределение величины испарения. Обработка материала показала, что многолетняя норма

испарения в первом приближении может быть получена из подсчетов по формулам

$$\text{В. К. Давыдова: } E = 15(1 + 0,125W) \cdot d^{0,8}; \quad (1)$$

$$\text{В. Д. Зайкова: } E = 0,2nC(1 + 0,85W_{100}) \cdot d^{0,78}; \quad (2)$$

$$\text{Б. В. Полякова: } E = 18,6(1 + 0,2W) \cdot d^{2,3}; \quad (3)$$

$$\text{Мейера—Полякова: } E = R(15 + 3W) \cdot d; \quad (4)$$

$$\text{Н. Н. Иванова: } E = 0,00144(25 + t)^2(100 - a). \quad (5)$$

Здесь E —испарение за месяц, мм;

d —среднемесячный дефицит влажности воздуха, мм;

W, W_{100} —скорость ветра на высоте флюгера и высоте 100 см, м/сек;

C —параметр, зависящий от соотношения между температурой воды и воздуха и изменяющийся в пределах 1,4—2,2 для отдельных районов по схеме изолинии;

a —среднемесячная относительная влажность воздуха.

Для расчета испарения с поверхности водохранилища по указанным выше формулам использованы данные наблюдений метеостанции „Тойтепа“ за 1936—1960 гг. (табл. 3).

Таблица 3

Показатель	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
$t, ^\circ\text{C}$	0,5	2,0	6,9	14,1	20,2	24,5	25,9	23,5	17,9	11,8	4,5	-0,2
$a, \%$	83	79	77	68	60	50	51	56	57	65	75	82
$d, \text{мм}$	0,98	1,88	2,48	5,10	8,85	13,28	14,02	11,1	8,18	5,10	2,48	1,05
$W, \text{м/сек}$	1,4	1,7	1,8	2,0	2,0	1,9	1,5	1,4	1,3	1,4	1,4	1,3

При расчете испарения по формуле Б. Д. Зайкова скорость ветра приведена к высоте 100 см по зависимости

$$W_{100} = W_z \left(\frac{2,523}{\lg z + 0,523} \right), \quad (6)$$

где W_z —скорость ветра на высоте Z , м/сек; параметр C принят равным 1,4.

В табл. 4 приведен расчет испарения по гидрометеорологическим данным. Величины испарения, вычисленные по формулам (1, 2, 3, 4, 5), различны. В теплый период — с апреля по сентябрь — испаряется 80% годовой нормы.

Таблица 4

Формула	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Σ
В. К. Давыдова	17	30	38	69	107	147	147	121	93	65	36	18	888
Б. Д. Зайкова	16	26	37	66	105	135	130	104	77	57	31	16	800
Б. В. Полякова	23	38	46	77	111	144	141	118	95	71	44	24	932
Мейера-Полякова	20	33	44	74	108	149	145	117	91	68	42	21	915
Н. Н. Иванова	15	22	34	70	118	176	183	149	114	68	31	16	996

Произведен также расчет испарения по методу А. П. Браславского и З. А. Викулиной [7]:

$$E = 0,13n \cdot (e - e_{200}) \cdot (1 + 0,72W_{200}), \quad (7)$$

где n —число дней;

e —максимальная упругость водяного пара по температуре воды, мб;

e_{200} — абсолютная влажность воздуха на высоте 200 см над поверхностью воды, мб;

W_{200} — скорость ветра на высоте 200 см над поверхностью воды, м/сек.

Приводим расчет (по формуле 7) испарения с поверхности водоема по данным табл. 1 (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Месяц	013п	e	e_{200}	$e - e_{200}$	W_{200}	$0,72W_{200}$	$1 + 0,72W_{200}$	E
VII	4,03	34,6	17,1	17,5	3,0	2,2	3,2	225,7
VIII	4,03	33,6	15,8	17,8	2,5	1,8	2,8	200,9
IX	3,9	24,6	11,9	12,7	2,4	1,7	2,7	133,7

Мы произвели теоретический расчет метеорологических элементов по вышеуказанной методике в исследуемом районе. Для выявления скорости ветра над водной поверхностью воспользовались данными метеостанции Тойтепа за 1936—1960 гг. и 1963 г. по месяцам (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

Год	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1936—												
1960	2,1	2,6	2,7	3,0	3,0	2,9	2,4	2,1	2,0	2,3	2,1	2,0
1963	1,2	1,8	2,0	2,6	2,7	1,8	1,2	1,7	1,5	1,2	1,4	1,2

Величины скорости ветра, полученные по методу Браславского и Викулиной, значительно ниже данных натурных исследований (табл. 1). Температуру воды рассчитали по тепловому балансу вертикального столба воды с площадью основания 1 см² и высотой, равной средней глубине водоема.

Главная трудность применения метода Браславского и Викулиной заключается в выборе начальной температуры воды для января. Дело в том, что не для всех водоемов можно выполнить основное положение метода — t_n (начальная температура воды первого расчетного интервала времени) равна 0°. Туябугузское водохранилище не покрывается льдом, поэтому для расчета необходимо было принять за начальную какую-то другую температуру. Для этого сопоставили температуру воды и воздуха гидрометеостанции Турк и гидрометпоста Солдатское с температурой воздуха по метеостанции Тойтепа. По графикам связи получили температуру воды начального периода, равную +3° (данные гидрометеостанции Турк) и +5,6° (данные гидрометпоста Солдатское). Эти величины и приняты за начальные для первого расчетного интервала времени. С той же целью использовали температуру воздуха первого месяца, равную +1°. Таким образом, произвели три варианта расчета среднемесячной температуры воды.

Из табл. 7 видно, что различная величина t_n влияет на среднюю температуру воды первых трех месяцев; начиная с апреля по август влияние сглаживается, а с сентября до конца года исчезает.

В методе Браславского и Викулиной не учитывается сезонность работы водохранилища. Мы произвели расчет испарения при минимальном и максимальном наполнении водоема. При расчете среднемесячных

значений испарения для марта — июля принимали испарение с водной поверхности максимально заполненного водохранилища, а для октября — ноября — минимально заполненного. Для переходных месяцев — январь, февраль, август, сентябрь, декабрь — испарение рассчитывали пропорционально изменению уровня воды в водохранилище.

Таблица 7

$t_n, ^\circ\text{C}$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1,0	1,8	4,8	9,2	14,7	20,4	26,2	30,8	31,2	28,0	22,7	15,2	7,5
3,0	3,5	6,9	11,2	15,5	20,6	25,9	30,8	31,2	28,0	22,7	15,2	7,5
5,6	5,6	7,1	10,3	14,9	21,2	27,4	31,8	31,2	28,0	22,7	15,2	7,5

Сравнивая величину испарения, полученную по данным берегового испарителя (табл. 3) за три месяца наблюдений, с величиной испарения, рассчитанной по методу Браславского и Викулиной за то же время, видим, что суммы величин испарения почти одинаковы (≈ 500 мм), хотя максимум испарения приходится на август (табл. 8, данные 1963 г.).

Таблица 8

$t_n, ^\circ\text{C}$	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1,0	17	11	36	41	110	153	177	211	133	52	20	11
3,0	8	3	29	37	98	135	162	206	133	52	20	11
5,6	11	9	42	46	100	130	161	206	133	52	20	11

Следовательно, при использовании метода Браславского и Викулиной для условий Средней Азии необходимо учитывать сезонность работы водохранилищ, а также выбор начальной расчетной температуры воды на январь.

Из вышеизложенного очевидно, что в течение года с поверхности Туябугузского водохранилища испаряется около 1000 мм воды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Давыдов В. К. Испарение с водной поверхности и потери на испарение с больших водохранилищ. Труды ГГИ, вып. 3 (57), Л., 1948.
2. Зайков Б. Д. Испарение с водной поверхности прудов и малых водохранилищ на территории СССР, Труды ГГИ вып. 21 (75), Л., 1949.
3. Поляков Б. В. О расчете внутригодового распределения испарения с бассейнов, „Метеорология и гидрогеология“, 1940, № 12.
4. Поляков Б. В. Гидрогеологический анализ и расчеты, Л., Гидрометеиздат, 1946.
5. Иванов Н. Н. Зоны увлажнения земного шара, Изв. АН СССР, 1941, № 3.
6. Молчанов Л. А. Новая карта испаряемости на территории Средней Азии, В сб. „Метеорология и гидрология в Узбекистане“, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1955.
7. Браславский А. П., Викулина З. А. Нормы испарения с поверхности водохранилищ, Л., Гидрометеиздат, 1954.

О. С. ДЕРМОЯН

О САМООЧИЩЕНИИ ВОДОТОКОВ САЛАР, ДЖУН И КАРАКУЛЬДУК

Цель охраны каждого водотока — поддержание равновесия между использованием его для приема сточных вод и расходом воды на хозяйственно-бытовые нужды населения. Для поддержания такого равновесия необходимо знать самоочищающую способность водоема.

Изучением вопросов самоочищения занимались С. Н. Черкинский, А. В. Караушев, И. Д. Родзиллер, В. А. Фролов и др. Одни исследователи считают, что самоочищение обусловлено только деятельностью микроорганизмов, другие рассматривают его как физико-химический процесс. В настоящее время А. В. Караушев, И. Д. Родзиллер и др. считают самоочищение процессом турбулентной диффузии и разбавления, сопровождаемым биологическими изменениями, в свою очередь связанными с кинематическими условиями потока (реаэрацией).

С. Н. Строганов делит процесс самоочищения на две стадии: 1) снижение концентрации загрязнения смешением и разбавлением сточных вод в водоеме; 2) минерализация органических соединений и отмирание внесенных в водоем бактерий. В настоящей статье рассмотрен расчет только одной стадии процесса самоочищения.

Существует ряд методов расчета разбавления и смешения сточных вод.

Метод А. В. Караушева. При решении вопроса смешения А. В. Караушев использовал уравнение В. М. Маккавеева для турбулентной диффузии. Этот метод наиболее точный, но трудоемкий, вследствие чего в расчетах отделом охраны водных источников САНИИВПиГ не применяется.

Таблица Н. А. Несмеянова дает возможность, исходя из соотношения расходов реки и сточных вод, найти расстояние до створа полного смешения. Однако она составлена без учета гидравлических элементов русла, поэтому результаты неточны.

Номограмма Г. М. Риммара. Номограмма в зависимости от расхода и гидравлических элементов речного потока позволяет вычислить расстояние до створа полного смешения, но она дает заниженные результаты.

Метод Родзиллера — Фролова. Метод основан на предпосылке, что все внесенные в реку загрязнения сосредоточиваются в максимально загрязненной струе, балансовое уравнение которой имеет вид:

$$\gamma Q C_0 + q Q_{ст} = (\gamma Q + q) C_{макс.}$$

где

Q — расход реки, $м^3/сек$;

q — расход сточных вод, $м^3/сек$;

γ — коэффициент смешения;

$C_0, C_{ст}, C_{макс}$ — концентрация загрязнений соответственно в воде реки перед спуском сточных вод, в сточных водах, в максимально загрязненной струе, $мг/л$.

Отделом водоснабжения и охраны водных источников расчеты расстояния до створа полного смешения по р. Салару и его отводам Джуну и Каракульдуку проводились по таблице Несмеянова, номограмме Риммара, формулам Родзиллера—Фролова и проверялись экспериментально.

По каналу Салар рассчитывалось расстояние от границы города до створа полного смешения сточных вод промышленных предприятий г. Ташкента: по Каракульдуку — Янгиюля; по Джуну — Ташкента, попадаемых в канал в Джуно-Саларском узле.

Как видно, результаты расчетов, полученные по таблице Н. А. Несмеянова и номограмме Г. М. Риммара, очень занижены и не подтверждаются данными экспериментальных исследований.

Расстояние до створа полного смешения, км

Канал	По таблице Несмеянова	По номограмме Риммара	По формуле Родзиллера—Фролова	По данным экспериментальных исследований
Салар	0,54	0,65	30,0 БПК ₅ = = 2,26 $мг/л$	Тенденция к самоочищению на расстоянии 40 км, БПК ₅ = 3,04 $мг/л$
Джун	0,54	1,0	27,0 БПК ₅ = 2,26 $мг/л$	30 БПК ₅ = 4,7 $мг/л$
Каракульдук	0,54	0,6	24,4 БПК ₅ = 3,27 $мг/л$	25 БПК ₅ = 2,86 $мг/л$

Наиболее точные результаты дает метод Родзиллера — Фролова. Так, по каналу Салар полное смешение промышленных сбросов Ташкента происходит на расстоянии 30 км от границы города. БПК₅ на этом участке, рассчитанное по формулам Родзиллера—Фролова, составляет 2,26 $мг/л$. Согласно экспериментальным данным, по Салару некоторая тенденция к самоочищению наблюдается на расстоянии 40 км, при этом БПК₅ снижается до 3,04 $мг/л$. Однако, говорить о полном самоочищении здесь нельзя, так как по другим показателям качество воды не улучшается: содержание активного хлора составляет 3,2 $мг/л$, фенолов — 0,009; окисляемость — 59,8 $мг/л$. То же наблюдается и по каналам Джун и Каракульдук.

Чтобы происходило самоочищение водотоков, необходимо снизить нагрузку по загрязнениям на них. Для этого отделом водоснабжения и охраны водных источников разрабатывается ряд мероприятий по охране указанных выше водотоков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуков А. И., Монгайт И. Л., Родзиллер И. Д. Канализация промышленных предприятий. Госстройиздат, 1962.
2. Методика определения условий спуска в водоемы сточных вод, М., 1962.
3. Турчинович В. Т., Лапшин М. И. Основы регулирования качества воды, Изд-во АН СССР, 1950.

Э. В. ШАРЕР

О ВОДОСНАБЖЕНИИ СТАРОЙ ЗОНЫ ОРОШЕНИЯ ГОЛОДНОЙ СТЕПИ ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ

В большинстве населенных пунктов старой зоны орошения Голодной степи, за исключением пос. Сырдарьинский, Великоалексеевский и г. Гулистан, водопроводная сеть отсутствует. Поэтому население использует на хозяйственно-бытовые нужды воду из оросительной сети. Общеизвестно, что вода в поверхностных источниках не отвечает санитарным требованиям; кроме того, круглогодичная эксплуатация каналов затрудняет ремонт ирригационной сети и ухудшает мелиоративное состояние подкомандных земель.

САНИИВПиГ ведет работы по осуществлению перевода сельских населенных пунктов старой зоны орошения Голодной степи на водоснабжение подземными водами.

Подземные воды в старой зоне орошения распространены повсеместно. Основными источниками питания подземных вод являются подземные притоки со стороны предгорий Туркестанского хребта и аллювиальной равнины р. Сырдарьи. Существенное значение в питании подземных вод имеют также фильтрационные потери из ирригационной сети. Водоносные горизонты залегают на глубине 50—300 м, представлены в основном песчано-галечниковыми отложениями, реже суглинками. Статические уровни воды в скважинах устанавливаются повсеместно на глубине 5 м. Удельные дебиты колеблются от 0,5 до 5 л/сек·м.

Одновременно с мероприятиями по переводу сельских населенных пунктов на водоснабжение подземными водами в старой зоне орошения Голодной степи будет проведена реконструкция поселков и централизованное расселение населения: часть населенных пунктов ликвидируется в процессе укрупнения и превращения в агрогорода с большим комплексом коммунальных удобств, с асфальтовым покрытием улиц и площадей. По данным Узгипрозема, к 1980 г. в старой зоне орошения будет сохранено 67 населённых пунктов.

В связи с вышеизложенным возникает необходимость увеличить норму водопотребления на одного человека в сутки. При расчете норм водопотребления учитываются расходы воды на хозяйственно-бытовые и производственные нужды, полив улиц и площадей (водой из каналов и водопроводной). Предпочтение при поливе отдается поверхностным водам. Если полив производится из канала, то в нормы водопотребления это количество воды не входит.

На 1962—1965 гг. нормы водопотребления на одного человека в сутки составляют 263 и 423 л соответственно при поливе водой из

каналов и водопроводной, а в 1980 г. возрастут до 426 (при поливе из каналов) и 746 л/сутки (при поливе водопроводной водой). Нормы водопотребления на одного человека в сутки в 1970 г. принимаются как средние между вышеуказанными: 345 л/сутки (при поливе из каналов) и 585 (при поливе водопроводной водой).

Приведенные выше величины водопотребления рассчитывались как суммы единичных норм воды в пересчете на 1000 чел., т. е. на количество жителей, наиболее характерное для населенных пунктов старой зоны орошения Голодной степи. По этим нормам рассчитано водопотребление поселков, сохраняемых в этой зоне к 1980 г.

Общая потребность сельских населенных пунктов старой зоны орошения Голодной степи к 1980 г. составит 2,2 м³/сек при условии использования водопроводной воды на полив улиц и площадей. При поливе водой из каналов эта норма уменьшится примерно до 1,45 м³/сек. Так как забор подземных вод для водоснабжения сельских населенных пунктов увеличится, то водоотбор принимается максимальный — 2,2 м³/сек, или 4% от эксплуатационных запасов.

По потребностям в воде и количеству населения поселки, сохраняемые в старой зоне орошения Голодной степи к 1980 г., можно разбить на 7 групп. Распределение населенных пунктов на группы по количеству населения, потребности в воде показано в таблице. При подсчете максимального водопотребления принят коэффициент часовой неравномерности — 1,25.

Число жителей в поселке	Количество поселков	Водопотребление		Коэффициент часовой неравномерности	Максимальное водопотребление, л/сек
		м³/сутки	л/сек		
270—670	6	200—500	1,3— 3,3	1,25	1,6— 4,1
670—1070	26	500—800	3,3— 5,4	1,25	4,1— 6,8
1070—1470	16	800—1100	5,4— 7,3	1,25	6,8— 9,1
1470—2000	2	1100—1500	7,3—10,0	1,25	9,1—12,5
2000—4000	6	1500—3000	10,0—20,0	1,25	12,5—25,0
4000—6700	6	3000—5000	20,0—33,0	1,25	25,0—41,0
Свыше 6700	5	Свыше 5000	Свыше 33,0	1,25	Свыше 41

Примечание. Таблица составлена с учетом водопотребления 426 л/сутки на человека.

Группа с подачей воды свыше 5000 м³/сутки с населением более 6700 жителей относится к городам. В оставшиеся 6 групп входит 62 населенных пункта. Из них две группы поселков с количеством жителей 270—670 и 670—1470 человек составляют 63% от общего количества населенных пунктов. Водопотребление их при норме 746 л/сутки на одного жителя изменяется от 500 до 1100 м³/сутки, или от 5,8 до 12,7 л/сек, а при поливе улиц и площадей из канала — от 200 до 800 м³/сутки, или от 3,3 до 7,3 л/сек.

При проектировании систем водоснабжения крупных сельских населенных пунктов с числом жителей 4000—6700 в каждом отдельном случае применяется индивидуальное решение. В остальных населенных пунктах строительство систем водоснабжения осуществляется по типовым проектам. Максимальное водопотребление этих групп населенных пунктов не превышает 25 л/сек (см. таблицу). Для обеспечения их водой требуются 1—2 скважины.

Анализируя вышеизложенное, можно сделать следующие выводы.

1. Имеющиеся запасы пресных подземных вод в старой зоне орошения Голодной степи позволяют осуществить здесь повсеместный перевод сельских населенных пунктов на водоснабжение этими водами.

2. 84% населенных пунктов старой зоны орошения Голодной степи могут быть реконструированы по типовым проектам.

3. Увеличится водопотребление на одного человека в сутки и к 1980 г. достигнет 746 л при поливе водопроводной водой или 426 л — при поливе водой из каналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оводов В. С., Ильин В. Г. Проектирование сельскохозяйственного водоснабжения и обводнения, М., Сельхозиздат, 1962.
 2. Пашенков Я. М., Карамбиров Н. А., Грибанов И. П. Сельскохозяйственное водоснабжение, буровое дело и насосные станции, М., Сельхозиздат, 1957.
 3. Плотников Н. А. Оценка запасов подземных вод, М., Госгеолтехиздат, 1959.
 4. СНиП, М., 1963.
 5. Гидрогеологические и инженерно-геологические условия Узбекистана, т. I, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1963.
-

К. С. ХОДЖАЕВ

ОДНОМЕРНЫЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПОТОК ГРУНТОВЫХ ВОД С УЧЕТОМ ИСПАРЕНИЯ

В Средней Азии почти все магистральные каналы, распределительная оросительная сеть построены в земляных руслах, поэтому очень много воды теряется на фильтрацию. Коэффициент полезного действия оросительных систем обычно не превышает 0,5—0,7. Так, из 25 млрд. m^3 воды, забираемой ежегодно оросительными системами Узбекистана из рек, 7,5—10 млрд. m^3 идут на потери.

Фильтрационные воды либо пополняют запасы грунтовых вод (в большинстве случаев), либо уходят в глубокие горизонты, являясь дополнительным источником питания подземных вод. При отсутствии оттока происходит подъем грунтовых вод и расходование их на испарение.

Орошаемые равнинные территории Средней Азии имеют слабую дренированность, и грунтовые воды залегают близко к поверхности. В этих условиях фильтрация из каналов протекает в подпертом режиме.

Мы исследовали один из частных случаев при подпертом режиме фильтрации — расходование фильтрационной воды только на испарение. Испарение из почвы тесно связано с уровнем грунтовых вод: при близком залегании оно достигает максимальной величины, а при снижении уровня до определенной глубины прекращается.

Глубина стояния уровня грунтовых вод, при которой начинается их интенсивное расходование на испарение, называется „критической“. В. А. Ковда выражает эту величину зависимостью

$$\Delta_0 = 170 + 8t \text{ см},$$

где t — среднегодовая температура воздуха, $^{\circ}\text{C}$.

Для Средней Азии, Закавказья, Южной Украины при среднегодовой температуре 5—20 $^{\circ}$ по данной формуле значение критической глубины равно 2,1—3,3 м.

С. Ф. Аверьянов для основных типов почв районов орошения при определении „критической“ глубины предлагает использовать приближенную зависимость

$$q = q_0 \left(1 - \frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^n,$$

где q — интенсивность испарения при глубине стояния грунтовых вод Δ ;

q_0 — интенсивность испарения при очень высоком стоянии уровня грунтовых вод;

Δ_0 — „критическая“ глубина стояния грунтовых вод, с которой начинается заметное их расхождение на испарение;

n — показатель степени ($1 < n < 3$).

Следует отметить, что выражение „испарение с поверхности грунтовых вод“ не отражает физического смысла явления, так как испарение происходит не с самой поверхности грунтовых вод, а через влажную зону, образующуюся над поверхностью грунтовых вод. Передвижение влаги и парообразование в почве — сложный процесс, требующий особого изучения. Анализируя имеющиеся по этому вопросу исследования, Аверьянов пришел к выводу, что „не получено обоснованной количественной связи между интенсивностью испарения и глубиной стояния грунтовых вод и физическими константами грунта“.

Для подпертой фильтрации из канала при расхождении грунтовых вод только на испарение, считая убыль потока грунтовых вод по его длине равным интенсивности испарения с поверхности грунтовых вод, Аверьянов, пользуясь выражением (1), составляет следующее уравнение

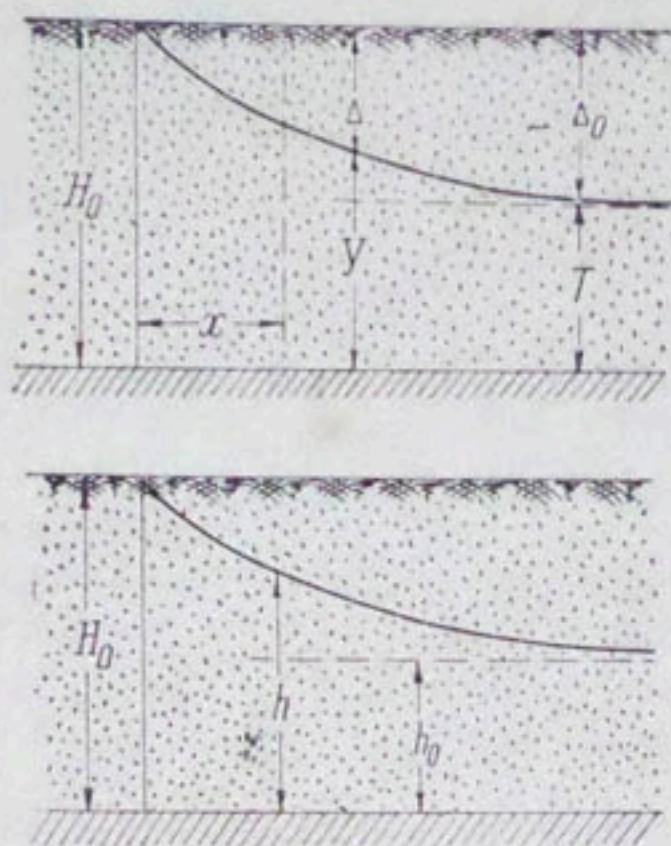


Рис. 1.

вод, Аверьянов, пользуясь выражением (1), составляет следующее уравнение

$$-\frac{d}{dx} \left(-Ky \frac{dy}{dx} \right) = q_0 \left(1 - \frac{\Delta}{\Delta_0} \right)^n.$$

Далее, принимая колебание поверхности грунтовых вод незначительным по сравнению с мощностью

$$T \left[\frac{d}{dx} \left(y \frac{dy}{dx} \right) \approx T \frac{d^2 y}{dx^2} \right],$$

уравнение (2) приводит к виду

$$\frac{d^2 \eta}{dx^2} = A \eta^n, \quad (3)$$

где $\eta = 1 - \frac{H_0 y}{\Delta_0}$, $y = H_0 - \Delta$, $A = \frac{q_0}{KT \Delta_0}$.

Для $n = 2$ он дает следующее решение:

$$\Delta = \Delta_0 \left(1 - \frac{1}{\left(1 + \frac{x}{\sqrt{6} \sqrt{KT \Delta_0 q_0}} \right)^2} \right), \quad (4)$$

$$Q = \frac{1}{\sqrt{\frac{2}{3}}} \sqrt{KT \Delta_0 q_0} \quad (5)$$

(Q — расход при $x = 0$).

Не меняя расчетной схемы процесса, эту задачу мы решаем в другой форме, а именно, за интенсивность испарения принимаем соотношение

$$q = q_0 \frac{h^2 - h_0^2}{T^2 - h_0^2}, \quad (6)$$

Здесь h_0 — критический уровень грунтовых вод, где начинается заметное расходование воды на испарение;

T — мощность пласта.

При этом осредняем переменную высоту h „мощностью“ потока T , как принято у С. Ф. Аверьянова.

Тогда уравнение (1) примет вид

$$-\frac{d}{dx} \left(-Kh \frac{dh}{dx} \right) = q_0 \frac{h^2 - h_0^2}{T^2 - h_0^2}$$

или

$$\frac{d}{dx} \left(h \frac{dh}{dx} \right) = \frac{a^2}{2} (h^2 - h_0^2), \quad (7)$$

где

$$a^2 = \frac{2q_0}{K(T^2 - h_0^2)}.$$

Далее будем иметь

$$h \frac{d^2h}{dx^2} + \left(\frac{dh}{dx} \right)^2 = \frac{a^2}{2} (h^2 - h_0^2).$$

Обозначая $\frac{dh}{dx} = p$ (при этом $\frac{d^2h}{dx^2} = p \frac{dp}{dh}$),

преобразуем предыдущее выражение так:

$$\frac{dp^2}{dh} + \frac{2p^2}{h} = a^2 \frac{h^2 - h_0^2}{h}.$$

Решая это дифференциальное уравнение, получаем

$$p^2 = \frac{a^2 (h^4 - 2h^2h_0^2 + C)}{4h^2} \quad (8)$$

(C — произвольная постоянная).

Но так как $p = \frac{dh}{dx}$, то

$$\frac{dh}{dx} = \frac{a \sqrt{h^4 - 2h^2h_0^2 + h_0^4 + C_2}}{h}, \quad (9)$$

где $C_2 = C - h_0^4$.

Интегрируя (9), выводим

$$x + C_1 = \ln \left[(h^2 - h_0^2) + \sqrt{(h^2 - h_0^2)^2 + C_2} \right],$$

откуда

$$h = \sqrt{\frac{1}{2} \left(e^{2(x+C_1)} - C_2 e^{-2(x+C_1)} \right) + h_0^2}. \quad (10)$$

Постоянные C_1 и C_2 определяем из следующих граничных условий:

при $x = 0$ $h = H_0 = T$,

$$x = L \quad \frac{dh}{dx} = 0.$$

Эти условия дают

$$e^{aC_1} = \frac{2(H_0^2 - h_0^2)}{1 + e^{2aL}}, \quad C_2 = \frac{4(H_0^2 - h_0^2)^2 e^{2aL}}{(1 + e^{2aL})^2}. \quad (11)$$

Подставляя (11) в (10), получим:

$$h = \sqrt{\frac{H_0^2 - h_0^2}{1 + e^{2aL}} (e^{ax} + e^{a(2L-x)})} + h_0. \quad (12)$$

Зависимость (12) определяет вполне возможную кривую свободной поверхности. Легко видеть, что при $x = 0$ $h = H_0$ и при $x = L$

$$\frac{dh}{dx} = 0.$$

Найдем расход потока при $x = 0$:

$$\left. \frac{dh}{dx} \right|_{x=0} = a \frac{H_0^2 - h_0^2}{H_0} \cdot \frac{1 - e^{2aL}}{1 + e^{2aL}}$$

или, принимая во внимание

$$\text{th}(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{1 - e^{2x}}{1 + e^{2x}}$$

получаем

$$\left. \frac{dh}{dx} \right|_{x=0} = a \frac{H_0^2 - h_0^2}{H_0} \text{th}(aL).$$

$$\text{Тогда } Q_{x=0} = -KH_0 \left(\frac{dh}{dx} \right)_{x=0} = aK(H_0^2 - h_0^2) \text{th}(aL). \quad (13)$$

Подставляя в (13) значение a , будем иметь

$$Q = \sqrt{\frac{q_0 K (H_0^2 - h_0^2)}{2}} \cdot \text{th} \left[L \sqrt{\frac{2q_0}{K(H_0^2 - h_0^2)}} \right]. \quad (14)$$

Расход в любой точке потока определяется по формуле

$$Q = Kh \frac{dh}{dx} = K \frac{a(H_0^2 - h_0^2)}{1 + e^{2aL}} (e^{ax} - e^{a(2L-x)}), \quad (15)$$

откуда легко видеть, что уже на расстоянии L расход равен нулю, т. е. фильтрационная вода полностью уходит на испарение.

При больших значениях x ($\text{th}(x) \simeq 1$) расход по формуле (14) может быть представлен в приближенной форме

$$Q \approx \sqrt{\frac{q_0 K (H_0^2 - h_0^2)}{2}} \quad (16)$$

Отсюда следует, что чем больше значения q_0 , K , $H_0 - h_0$, тем больше фильтрационный расход.

При составлении дифференциального уравнения движения (7) за интенсивность испарения приняли выражение (6). Эта зависимость

q_0 , мм (из опыта)	$q = q_0 \frac{h^2 - h_0^2}{H_0^2 - h_0^2}$, мм	$q_1 - q_0 \left(1 - \frac{\Delta}{\Delta_0}\right)^2$, мм (Аверьянов)	q_0 , мм	$Q = \frac{V_{\text{кв.}} \left(\frac{H_0^2 - h_0^2}{1 - 2} \right)}{1 - 2}$, мм ³ /сутки	$Q = \frac{KT \Delta_0 \lambda_0}{\lambda_0}$, мм ³ /сутки (Аверьянов)
5,24	4,97	4,20	6,46	1,110	1,150
4,74	4,43	3,84	5,90	1,060	1,100
4,12	4,08	3,52	5,42	1,020	1,050
3,50	3,50	3,03	4,66	0,930	0,970
3,40	3,24	3,00	4,70	0,927	0,960
3,30	3,00	2,60	4,00	0,870	0,900
3,66	3,63	3,15	5,10	1,000	1,020
2,48	2,72	2,36	3,72	0,840	0,870
3,20	3,01	2,61	4,28	0,895	0,930
3,00	2,81	2,43	3,58	0,820	0,850
1,68	1,87	1,62	2,50	0,683	0,710
1,40	1,49	1,30	2,00	0,620	0,630
0,30	0,37	0,32	0,50	0,304	0,318
2,80	2,40	2,08	3,00	0,746	0,780
0,90	0,68	0,58	1,20	0,475	0,492

приближенно соответствует формуле (1) С. Ф. Аверьянова для $n = 2$. Если за интенсивность испарения принять выражение вида (6), то поставленную задачу можно решать с учетом проницаемости водоупора, т. е. когда часть фильтрационных вод просачивается в нижележащий слой грунта. Вообще, если выразить интенсивность в виде $q = f(h^2)$, то уравнение (7) легко линеаризуется. Кроме того, по формуле (6) при $h = h_0$ $q = 0$ и при $h = T$ $q = q_0$, что характерно для критической глубины и соответствует испарению на поверхности почвы.

В 1962—1963 гг. мы изучали влияние уровня грунтовых вод, отфильтровавшихся из каналов, на интенсивность испарения.

Опыт проводили в пяти изолированных железных ящиках одинакового размера ($100 \times 100 \times 50$ см) методом увлажнения снизу. Каждая секция соответствовала определенному условию залегания уровня воды в почве. Испарение измеряли начиная с непосредственного достижения фильтрационной водой поверхности и при глубинах стояния воды 0,5—0,75 м от поверхности. Отметки уровня воды в испарителях показывали пьезометры. Полученные данные подтвердили зависимость испарения от уровня грунтовых вод: с понижением уровня испарение уменьшалось.

По данным экспериментов мы рассчитали интенсивность испарения по формуле (6); расчеты по формуле Аверьянова (1) дали несколько заниженные результаты.

Как отмечено, за уровень грунтовых вод приняли показания пьезометров. В действительности поверхность грунтовых вод сливается с капиллярной каймой, и испарение в этой зоне требует специального изучения. Поэтому при расчетах на испарение при различной глубине уровня грунтовых вод по указанным выше формулам показания пьезометров могут оказаться неточными.

В таблице дано сравнение расходов воды по формулам С. Ф. Аверьянова и (16) при $H_0 = 20$ м, $K = 3,4$ м/сутки, $h_0 = 17$ м, $\Delta_0 = 3$ м, $\Delta = 0,7$ м, $h = 19,3$ м.

Таким образом, подпертая фильтрация из канала при расходовании грунтовых вод только на испарение, когда интенсивность испарения зависит от глубины стояния грунтовых вод, может быть определена по формулам (12), (14) и (16).

ЛИТЕРАТУРА

1. Костяков А. Н., Аверьянов С. Ф., Фаворин Н. Н. Влияние оросительных систем на режим грунтовых вод, М., Изд-во АН СССР, 1956.
 2. Каплинский М. И. Влияние орошения на режим грунтовых вод, М., Изд-во АН СССР, 1959.
 3. Ковда А. А. Происхождение и режим засоления почв, т. 1, М., Изд-во АН СССР, 1947.
-

М. П. МУХТАРОВ

ПРИМЕНЕНИЕ КОММУТАТОРОВ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ПУЛЬСАЦИЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ

Гидравлическим исследованиям чаще всего подвергаются турбулентные потоки, механические параметры в которых (скорость, давление, температура и т. д.) изменяются во времени (пульсируют) и носят случайный характер.

Для фиксаций быстроменяющихся величин прочно установился электрический способ измерения.

Величину механического параметра можно определять двояко: а) по амплитуде электрического сигнала (механический параметр преобразуется в электрический сигнал); б) по частоте следования электрических сигналов (механический параметр преобразуется в пульсирующий электрический сигнал. При рассмотрении прибора в целом (датчик, генератор и пр.) становится очевидным, что в первом случае осуществляется механическая модуляция по амплитуде, а во втором — частотная.

Запись электрических сигналов разной силы и электрических импульсов, идущих с различной скважностью, производится на самописцы (в основном на пленку осциллографа, реже на магнитную пленку и др.).

Рассмотрим подробно процесс измерения механического параметра и обработки его результатов. Предположим, имеется какой-либо датчик, осуществляющий частотную модуляцию и приспособленный для измерения пульсации скорости в потоках. Импульсы записываются на пленку осциллографа. После химической обработки пленки, просматривая результат записи, можно заметить, что импульсы одинаковой амплитуды, но с различной скважностью. Это очевидно отвечает измерению различных по величине скоростей в течение длительного промежутка времени.

Допустим, нам необходимо найти среднее квадратичное отклонение пульсационной составляющей. Для этого на проявленной пленке выбираем отрезок, длительностью достаточной для получения осредненной во времени скорости (в лабораторных условиях обычно он равен 5–60 сек), разбиваем на n временных частей, в пределах которых скорость осредняем и принимаем за мгновенную. Длина таких частей в зависимости от поставленной задачи и индивидуальных характеристик потока выбирается в пределах секунды, а в натурных исследованиях может быть и больше. Имея n наблюдений, вычисляем среднее квадратичное отклонение, осредненный период пульсации и другие характеристики турбулентных потоков.

Таким образом, весь процесс измерения складывается из следующих работ: 1) запись на пленку осциллографа, 2) химическая обра-

ботка пленки, 3) выборка отрезка определенной длительности и разбивка его на n частей, 4) подсчет количества импульсов в пределах всего отрезка и в пределах каждой из n частей и 5) арифметические действия.

Можно импульсы, даже очень слабые, усилить до степени, необходимой для срабатывания счетчика. Если считать импульсы в течение длительного времени, то после выключения прибора получим величину, осредненную во времени (количество считанных импульсов деленное на время измерения). Имея определенное количество счетчиков, подключаем их поочередно на строго установленное время к выходу, откуда поступают импульсы; перебрасывание выходной цепи с одного регистра на другой произведем быстро, чтобы время перебрасывания можно было бы назвать „мгновенным“. Просмотрев результаты считывания убедимся, что каждый из счетчиков зарегистрировал разное количество импульсов — соответственно пульсации измеряемой механической величины.

Все работы, исключая арифметические действия, можно автоматизировать, используя коммутатор. В качестве коммутаторов применяются шаговые искатели, релейные распределители или электронные коммутаторы. Схема устройства с применением в качестве коммутатора шагового искателя приведена на рис. 1.

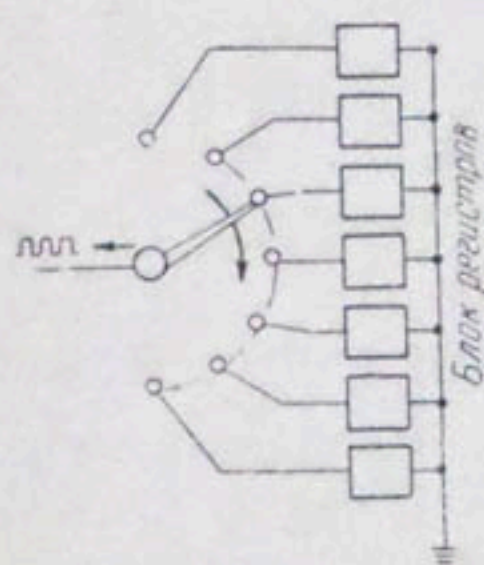


Рис. 1.

Конструкция датчика состоит в следующем. Бесконтактная микровертушка электролитического типа помещается в рамку, вращающуюся в вертикальной плоскости. Рамка снабжена стабилизатором, который устанавливает ось микровертушки соответственно местному направлению движения потока и одновременно служит общим подвижным электродом (рис. 2). За стабилизатором крепится неподвижное электродное поле в виде дужки диэлектрика с закрепленными на ней точечными электродами. Максимальное сближение подвижного электрода с одним из электродов

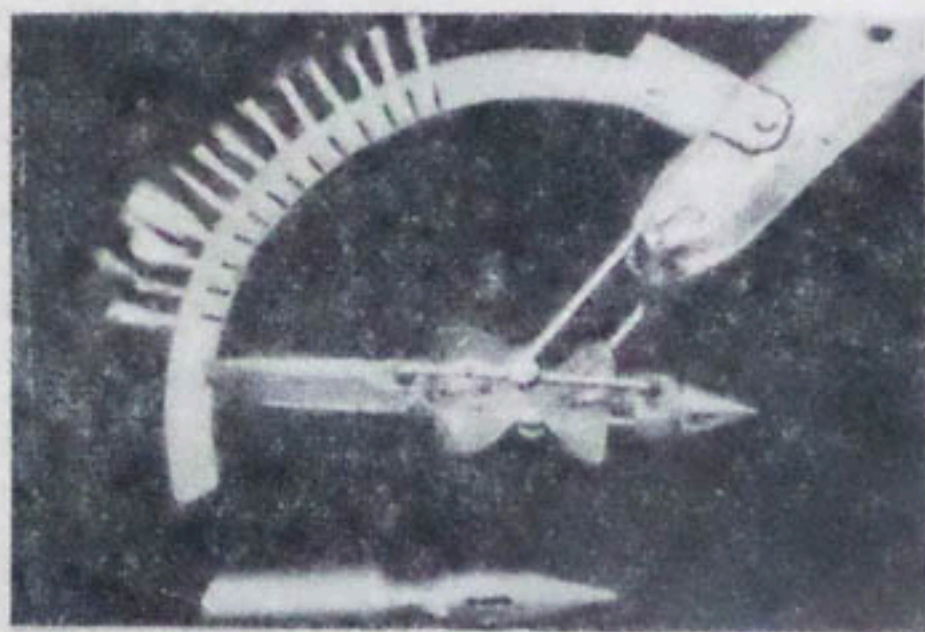


Рис. 2.

на дужке соответствует определенному углу установления оси микровертушки относительно горизонтальной плоскости.

Электроды микровертушки включаются в одно из плеч компенсационной цепи, питающейся генератором. Импульсы, появляющиеся в

диагонали цепи в результате вращения микровертушки, подаются на вход усилителя, выход которого соединяется с подвижным контактом шагового искателя. Неподвижные контакты шагового искателя соединены со счетчиками таким образом, что при любом положении подвижного контакта на выход усилителя подключается один из счетчиков.

Питание обмотки шагового искателя осуществляется через нормально разомкнутые контакты реле, который срабатывает через заданные промежутки времени за счет импульсов, выдаваемых мультивибратором.

Направление мгновенных скоростей фиксируется следующим образом. Установление оси микровертушки под каким-либо углом относительно горизонтальной плоскости приводит к уменьшению сопротивления цепи на участке между подвижным электродом и одним из электродов на дужке в результате их сближения. При этом в диагонали компенсационной цепи появляется импульс, благодаря которому срабатывает электромеханический счетчик. Изменение направления

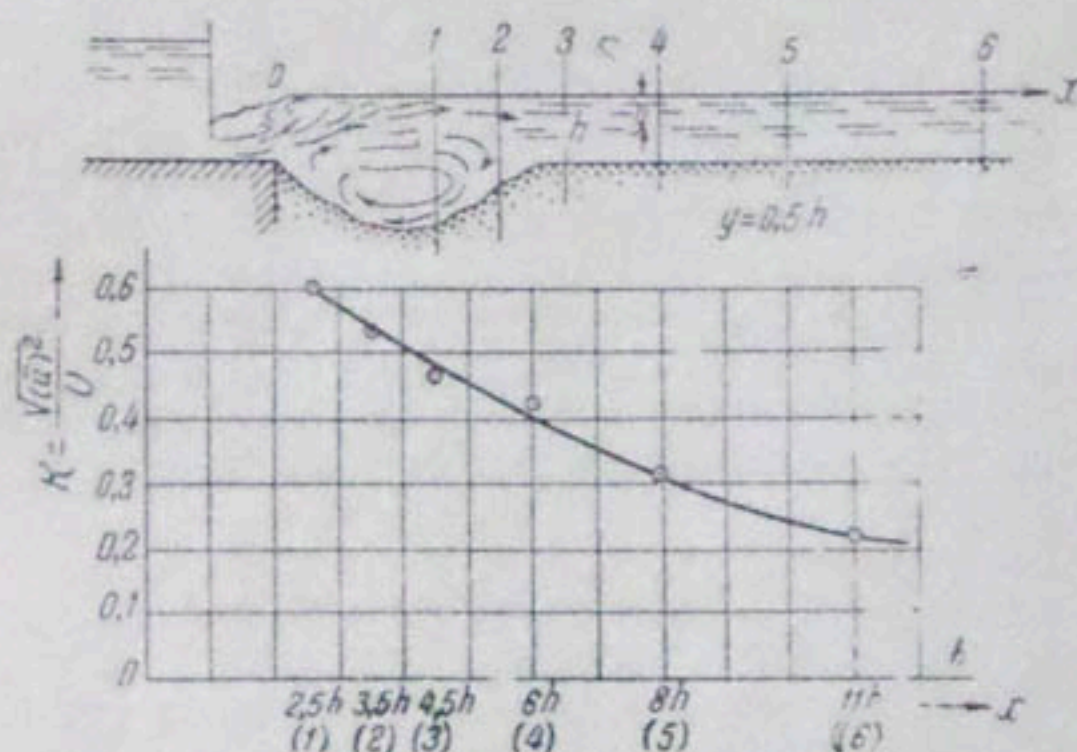


Рис. 3.

скорости приводит к сближению подвижного электрода с другим электродом дужки; это приводит к срабатыванию счетчика, относящегося к этому новому электроду, а следовательно, к другому углу.

Пример использования коммутационного прибора с датчиком, осуществляющим частотную модуляцию, дан на рис. 3.

При определении „мгновенного“ вектора скорости в промежуток времени, например 0,2 сек., появление пульсаций с периодами менее 0,2 сек. приводит к фиксации нескольких направлений. Поэтому для скорости, осредненной в пределах 0,2 сек., выбирается направление, чаще других появившееся, соответствующее моде кривой распределения, которая могла бы быть построена на результатах фиксации счетчиками частот появления того или иного направления местной скорости.

В заключение отметим, что из описанного выше способа имеются еще некоторые возможности, в частности определение какого-либо параметра одновременно в двух и более точках при наличии двух и более датчиков, одновременное измерение пульсаций величины и направления скоростей и т. д.

В. Я КИРЮХИН

СТРОЕНИЕ НАМЫТОГО ЛЕССОВОГО ГРУНТА И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА НЕКОТОРЫЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Текстура намывного лессового грунта. При намыве лессового грунта, проводившемся в исследовательских целях в течение ряда лет на опытной дамбе и полигоне лаборатории оснований и механики грунтов [1, 2], замечена своеобразность его текстуры, заключающаяся в отчетливо различаемой невооруженным глазом слоистости (рис. 1, а).

В расположении слоев наблюдается ритмичность: слои, образованные более крупными частицами и агрегатами, чередуются с прослойками из мелких фракций. Толщина первых (основных слоев ритма) колеблется от 3 до 20 мм, вторых — от 0,3 до 5 мм. При рассмотрении образцов грунта под лупой видно, что характер перехода одного слоя к другому самый разнообразный.

Переход от мелкодисперсной прослойки к основному слою, как правило, выражен резко. Образование слоистой текстуры зависит от внутренней структуры взвесенесущего потока пульпы малой глубины (0,5—3 см), перегруженного наносами и находящегося в условиях неравномерного, неустановившегося движения.

Всесторонние исследования, проведенные И. Я. Русиновым [4] при намыве песчаных грунтов, позволяют установить основные особенности структуры потока пульпы при намыве и характер их влияния на строение указанных грунтов. Используя явления опалесценции и применяя скоростную киносъемку, он установил, что в потоке пульпы при намыве, наряду с движением частиц всех фракций, наблюдается периодическое прохождение скоплений мелкодисперсных частиц в виде мутного облака. При этом движение частиц других фракций при прохождении скоплений мутности не прекращается, а как бы вуалируется данным облаком.

Периодичностью движения частиц Русинов объясняет образование микрослоистости¹ намываемого песчаного грунта [3]. При прохождении разных частиц формируется основной слой ритма микрослоистости; в период прохождения мелкодисперсные частицы как бы размазываются по поверхности уже намывного слоя с получением тонкой прослойки. Прослойка образуется и при прохождении скоплений мутности вблизи поверхности, когда часть дисперсных частиц просто осаждается на поверхности намывного грунта.

Описанная картина, характерная для формирования текстуры песчаных грунтов при намыве, свойственна и лессовым грунтам. Но если

¹ В наших опытах — „слоистость“, так как хорошая видимость напластований не увязывается с понятием „микро“.

в потоке пульпы из песчаного грунта на грунтовые частицы действуют в основном силы тяжести и турбулентные пульсации, то в потоке пульпы из лессового грунта наряду с этим происходит физико-химическое взаимодействие частиц друг с другом, свойственное всем глинистым грунтам. При этом дефицит глинистых частиц в лессовом грунте компенсируется пылеватыми частицами, на поверхности которых образуются активные пленки-гели [5].

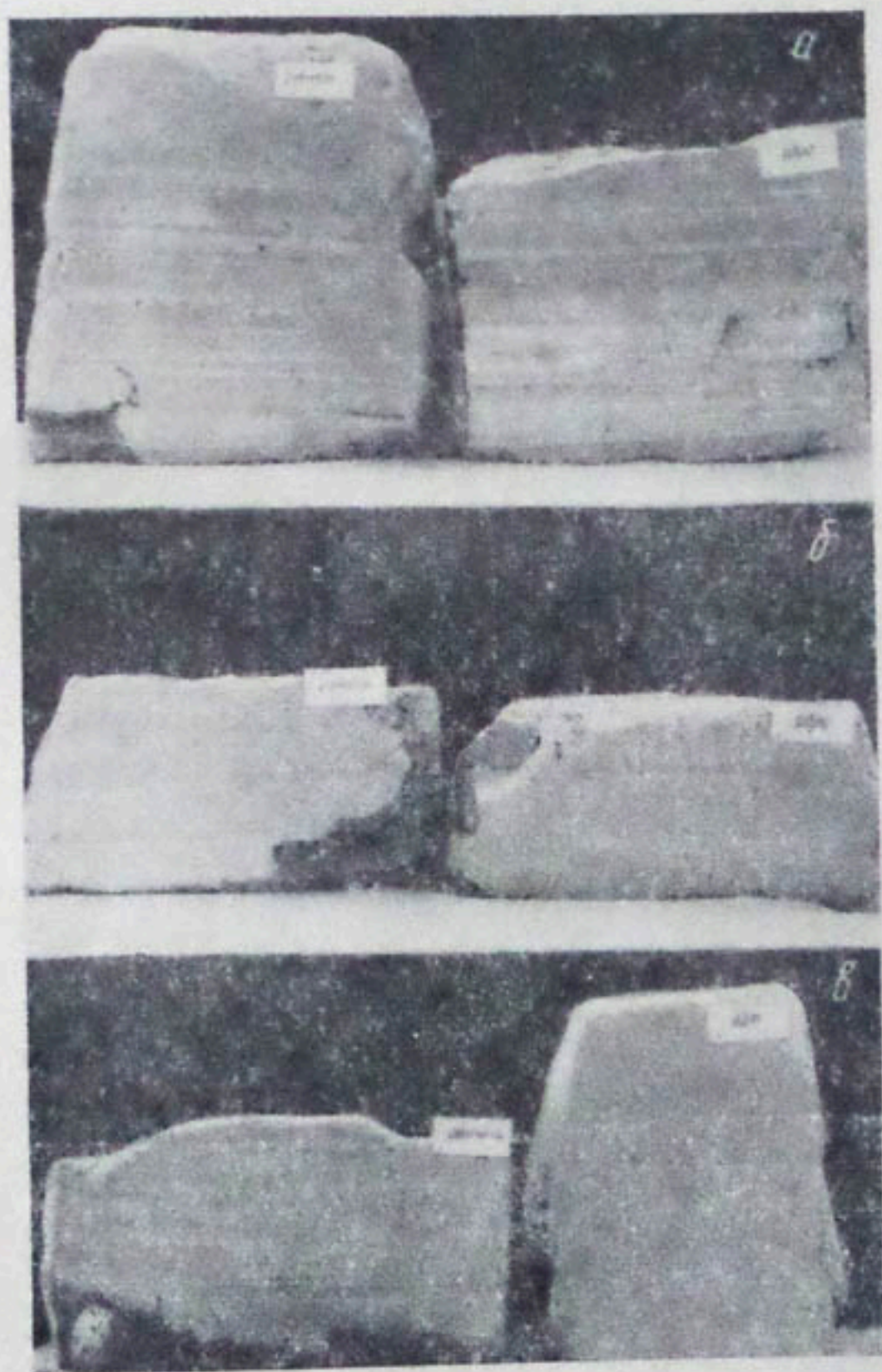


Рис. 1. Строение намытого лессового грунта с ярко выраженной (а) и деградированной (б и в) слоистостью.

Следовательно можно предположить, что в условиях намыва лессового грунта мелкие частицы скоплений мути не являются инертными, они находятся в сложном физико-химическом взаимодействии. Отдельные скопления мелких частиц в перегруженном наносами потоке и наличие в нем разномасштабных пульсаций обуславливают турбулентную коагуляцию частиц взвеси и способствуют образованию структурированных систем в потоке пульпы.

При турбулентной коагуляции, когда акты встреч всех частиц происходят за счет разномасштабных пульсаций, выпавшие частицы и агрегаты всех размеров должны формировать основной слой ритма; структурные системы скоплений мутности — участвовать в образовании прослойки из тонкодисперсных фракций. Результаты механического анализа основного слоя ритма и прослойки наглядно подтверждают это предположение.

Ритм слоистости	Гранулометрический состав							Агрегатный состав				
	$\geq 0,25$	0,25—0,10	0,10—0,05	0,05—0,01	0,01—0,005	0,005—0,001	$< 0,001$	$\geq 0,25$	0,25—0,10	0,10—0,05	0,05—0,01	$< 0,01$
I слой боковой призмы	1	3	3	60	17	4	12	2	4	16	76	2
II слой боковой призмы	—	—	2	68	15	4	11	—	—	6	90	4
I слой ядра	—	1	2	65	16	4	12	—	1	8	89	2
II слой ядра	—	—	—	69	15	6	10	—	—	4	91	5

Механический состав грунта основных слоев отличается от прослоек как по данным агрегатного, так и гранулометрического анализов. Состав прослойки характеризуется большим содержанием частиц и агрегатов менее 0,05 мм, более крупных агрегатов в нем меньше, чем в основном слое.

Текстура намывного лессового грунта в значительной степени зависит от технологии намыва, т. е. от концентрации пульпы и удельных расходов воды. Повышение весовой концентрации пульпы до 40% приводит к нарушению слоистости грунта (рис. 1, б), выражающемуся в увеличении толщины основных слоев ритма, уменьшении толщины прослойки и изменении ее механического состава. Дальнейшее увеличение консистенции приводит к еще большему деградированию слоистости (рис. 1, в).

Причина деградации слоистости — уменьшение масштаба турбулентных пульсаций с перемещением их в область более высоких частот. Действие большого количества частиц при этом уподобляется действию решетки, помещенной в поток. Повышение концентрации приводит к увеличению вязкости потока пульпы и стесненному падению в нем частиц и агрегатов.

Повышенные удельные расходы воды (16 л/м·сек) влияют на слоистость, но в меньшей мере, чем консистенция. В основном это проявляется в изменении состава соответствующих слоев боковой призмы и ядра — они становятся более одинаковыми. Малые удельные расходы воды приводят к уменьшению толщины слоев ритма.

Влияние слоистости на прочность и водопроницаемость намывного лессового грунта. Одной из основных физико-технических характеристик грунта является его сопротивление сдвигу, что особенно важно для намывных лессовых грунтов в период возведения сооружения, когда уложенный грунт отличается высокой влажностью и незначительным объемным весом, т. е. когда его прочностные свойства только начинают формироваться.

Текущая консистенция свеженамывного грунта исключает возможность отбора из него образцов общепринятыми методами, поэтому сопротивление сдвигу намывных грунтов определяли лопастным сдвиго-

мером [4]. Первоначально применили два вида четырехлопастных крыльчаток: с прямоугольной формой лопастей и с лопастями в форме двух сложенных по основаниям равнобоких трапеций (с трапеци-
дальной формой).

Крыльчатка с прямоугольной формой лопастей характеризовала слоистость грунта, так как плоскость сдвига в верхней и нижней ее частях совпадала с плоскостью наслоений. У крыльчатки с трапеци-
дальной формой аналогичные ее части, телом вращения которых яви-
лись конусы, производили сдвиг грунта под углом к наслоению.

Экспериментальные данные сопротивления сдвигу при различной его влажности, полученные обоими типами крыльчаток, приведены на рис. 2. Зависимость сопротив-
ления грунта сдвигу от его влажности для этих крыльча-
ток практически одинакова.

Специальными опытами мы выясняли причину „нечувстви-
тельности“ крыльчаток (кар-
тина деформации грунта при сдвиге), кроме того, применили также другой тип крыльчат-
ки — шестилопастную с прямо-
угольной формой лопастей. Опыты проводили следующим образом: образец грунта раз-
резали по основному слою, верхнюю часть его аккуратно снимали и на поверхность ниж-
ней части укладывали ради-
ально расходящиеся тонкие жгутики пластилина. Затем верхнюю часть аккуратно укла-
дывали и прижимали. После некоторого выдерживания об-
разца в него внедряли крыль-
чатку с таким расчетом, что жгутики пластилина приходились на уровне середины лопастей. Место внедрения крыльчатки предварительно строго фиксировали для соосности с центром пластилиновых жгутиков.

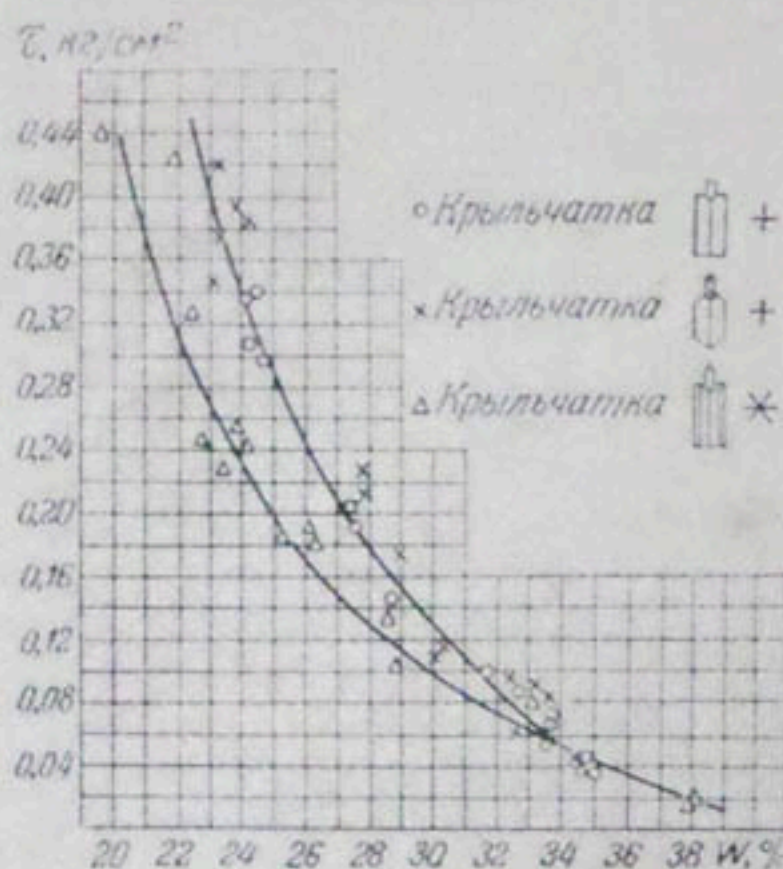


Рис. 2. Сопротивление сдвигу грунта зоны боковой призмы в зависимости от влажности, определенное различными крыльчат-
ками.



Рис. 3. Деформация грунта при сдвиге.

После сдвига грунта верхнюю часть образца постепенно удаляли до обнажения жгутиков и фотографировали (рис. 3). На фотографии хорошо видно, что при сдвиге происходит относительное перемещение частиц грунта периферийной зоны. При сдвиге четырехлопастной крыльчаткой зона, в которой происходит это перемещение, значительно шире, чем при сдвиге шестилопастной крыльчаткой.

Из данных сопротивления грунта сдвигу, полученных при испытании шестилопастной крыльчатки (рис. 2), видно, что при одной и той же влажности грунта они ниже, чем у четырехлопастной крыльчатки. При влажности грунта, равной 34% и выше, влияния слоистости на сопротивление грунта сдвигу не наблюдается.

С уменьшением влажности слоистость постепенно оказывает влияние на прочность грунта. При влажности 30% сопротивление сдвигу у шестилопастной крыльчатки на 30% ниже, чем у четырехлопастной, а при влажности 27 и 23% сопротивление сдвигу у шестилопастной крыльчатки ниже, чем у четырехлопастной соответственно на 40 и 50%. При дальнейшем уменьшении влажности величина эта (50%) в среднем остается постоянной.

Слоистая текстура грунта влияет и на такую важную его характеристику, как водопроницаемость. Учитывая, что процесс водоотдачи намывного грунта в начальный период консолидации происходит в результате отжатия воды вверх, определение коэффициента фильтрации производили перпендикулярно слоям.

Проведенные опыты по определению водопроницаемости грунта показали, что коэффициент фильтрации в грунтах зоны боковой призмы с наиболее выраженной слоистостью в среднем составил $1,4 \times 10^{-7}$ см/сек. Образцы грунта из этой же зоны, но с дегидрированной слоистостью имели величину коэффициента фильтрации равную 1×10^{-5} см/сек. Соответственно в зоне ядра коэффициенты фильтрации составляют величины $0,5 \times 10^{-7}$ и $0,6 \times 10^{-5}$ см/сек. Таким образом, дегидрирование слоистости намывного грунта в зоне боковой призмы приводит к увеличению коэффициента в 70 раз, в зоне ядра в 120.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирюхин В. Я. К вопросу о намыве земляных сооружений из лессовидных грунтов, Труды САНИИРИ, вып. 98, 1959
2. Кирюхин В. Я. Оценка сопротивления сдвигу намывного лессовидного грунта с помощью лопастного сдвигомера, Труды САНИИРИ, вып. 109, 1960.
3. Русинов И. Я. Исследование физико-механических характеристик намывных песчаных грунтов при намыве насыпей на аэродромах, Изд-во ЛКВВИА им. А. Ф. Можайского, 1959.
4. Русинов И. Я. О возможности стабилизации несвязных грунтов методом намыва оптимальных смесей, Труды ЛКВВИА им. А. Ф. Можайского, вып. 357, 1961.
5. Рождественский Е. Д. Физико-технические свойства лессовых грунтов Узбекистана, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1960.

К. ТАЛАБАЕВ

УМЕНЬШЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

Одной из важнейших задач в повышении урожайности сельскохозяйственных культур является всемерное увеличение к. п. д. оросительных систем.

В лаборатории грунтоведения САНИИВПиГ (под руководством Е. Д. Рождественского) в 1961—1963 гг. изучалась возможность использования ряда материалов как добавки к лессовому грунту для устройства из полученных грунтосмесей (с последующим их уплотнением) антифильтрационных экранов по периметру ирригационных каналов. С этой целью мы провели:

1) лабораторные опыты по определению возможности снижения водопроницаемости лессового грунта добавками: полимеров полиакриламида и К-4, джаркурганской нефти, отходов нефтеперерабатывающей промышленности (широкой фракции с 20—30% гачи или таким же количеством петролатума);

2) полевые опыты по выявлению эффективности экранирования котлованов смесями лессового грунта с добавками таких же полимеров, джаркурганской нефти с хлопковым гудроном и без него, широкой фракции нефти, содержащей 20% гачи.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытывались лессовые грунты: а) влажностью 10, 14, 18% с дозировками полимера полиакриламида или полимера К-4—0,3; 0,5; 0,8; 1,0% (от веса сухого грунта) при плотности грунтосмесей $\delta_{ск} = 1,4; 1,5; 1,6$ и $1,7 \text{ г/см}^3$;

б) влажностью 2, 10, 14 и 18% с дозировками джаркурганской нефти 5, 10, 15% и $\delta_{ск} = 1,5; 1,6; 1,7 \text{ г/см}^3$ [1];

в) влажностью 14% с добавкой 10% широкой фракции нефти, содержащей 20—30% (от веса широкой фракции) гачи или петролатума, и воздушно-сухой лессовый грунт с добавкой 15% той же смеси; плотность грунтосмесей $\delta_{ск} = 1,4; 1,5; 1,6 \text{ г/см}^3$. Показатели физико-химических свойств полимеров полиакриламида и К-4, джаркурганской нефти и продуктов ее переработки приведены в литературе [2—8].

Грунт, использованный для приготовления смесей, представлял слабозасоленную пылеватую супесь. Грунтосмеси уплотняли лабораторными копрами, затем в фильтрационных приборах (ПВ) определяли коэффициент фильтрации (см/сек) изготовленных образцов, имеющих площадь 40 см^2 , высоту 3—4 см.

В результате установили, что добавками полиакриламида и К-4 в количестве до 1,0% от веса сухого грунта можно существенно снизить его водопроницаемость (рис. 1,2).

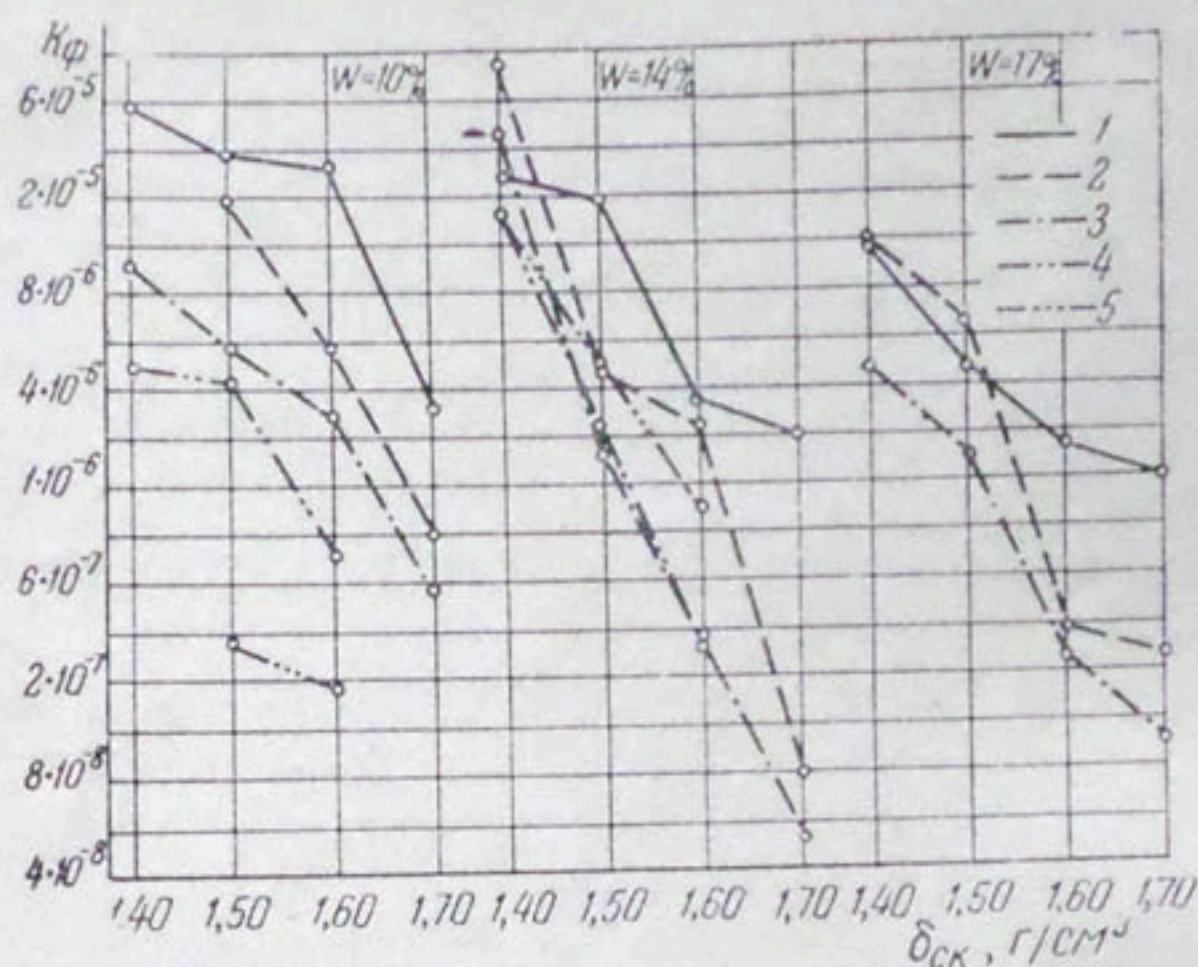


Рис. 1. Изменение K_{ϕ} в зависимости от $\delta_{ск}$ грунта, дозировки полиакриламида.

1 — лессовый грунт. Лессовый грунт с дозировкой памида соответственно: 2—0,3%; 3—0,5%; 4—0,8%; 5—1,0%.

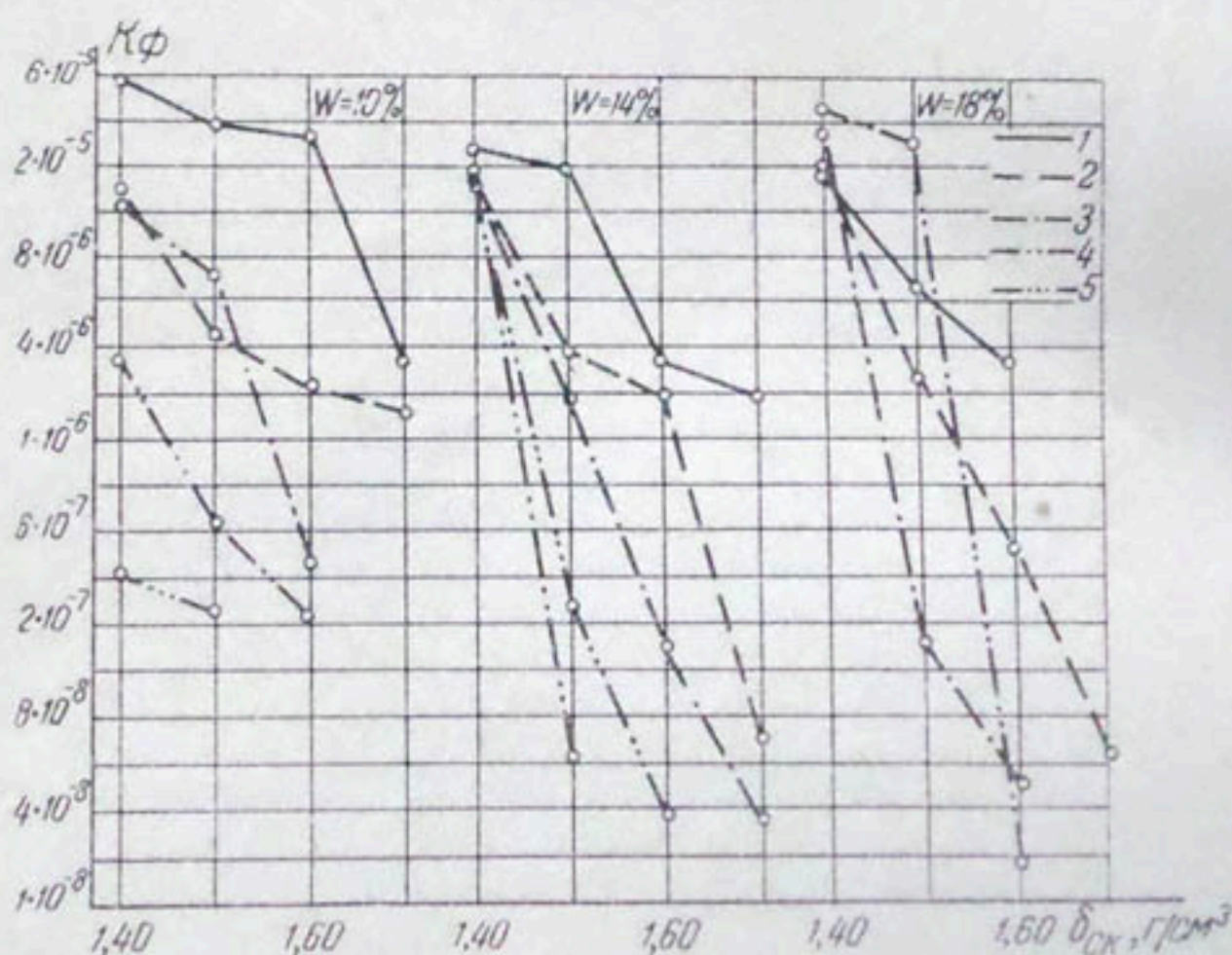


Рис. 2. Изменение K_{ϕ} в зависимости от $\delta_{ск}$ W грунта и дозировки полимера К-4.

1—лессовый грунт. Лессовый грунт с дозировкой К-4 соответственно: 2—0,3; 3—0,5; 4—0,8; 5—1,0%.

Коэффициент фильтрации равен нулю при дозировках полимеров 0,8 — 1,0%, влажности грунта 10 — 14% и $\delta_{ск} = 1,7$ г/см³. При добавке

нефти и ее продуктов можно добиться уменьшения коэффициента фильтрации до 6600 раз по сравнению с грунтом без добавки, несмотря на одни и те же значения w и $\delta_{ск}$ (рис. 3).

Для установления оптимальных условий приготовления смесей мы изучили влияние исходной влажности грунта, дозировку вяжущего и степень уплотнения грунтовой смеси на снижение ее водопроницаемости.

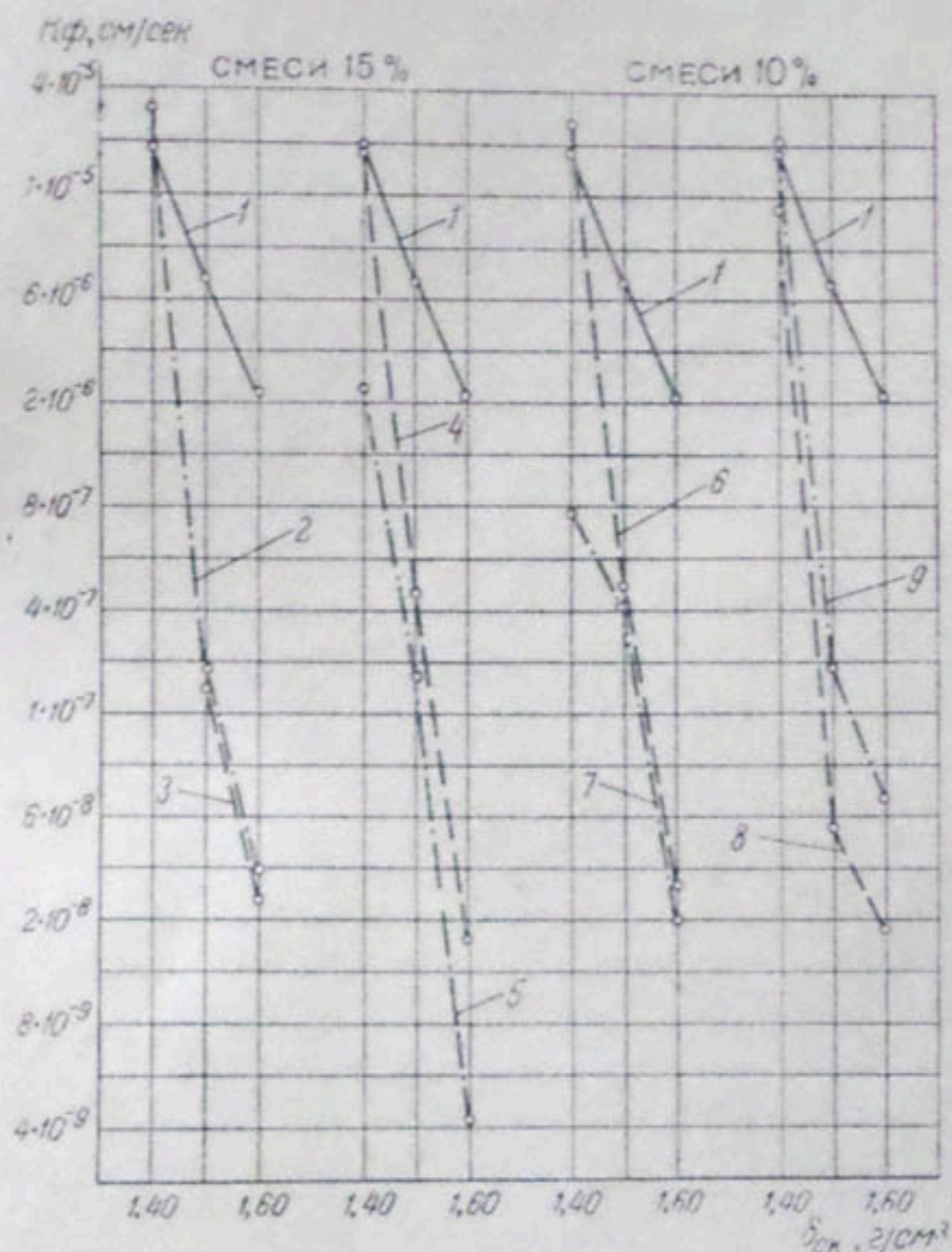


Рис. 3. Изменение K_f в зависимости от $\delta_{ск}$ W грунта и дозировки широкой фракции нефти с гачей и петролатумом.

1 — лессовый грунт $W_{упл.} = 17\%$; грунт + 15% смеси; 2 — 70% ш. фр. + 30% гача, 3 — то же — 80 + 20, 4 — 80% ш. фр. + 20% п — а, 5 — то же — 70 + 30; грунт + 10% смеси; 6 — 80% ш. фр. + 20% гача, 7 — то же — 70 + 30; 8 — 80% ш. фр. + 20% п — а, 9 — то же — 70 + 30.

Исходная влажность грунта. Внесение полимеров и нефтепродуктов в лессовый грунт усложнило зависимость коэффициента фильтрации от влажности: для полимеров четкую закономерность по данным опытов установить затруднительно; для нефти выявилась тенденция снижения оптимальной влажности с повышением дозировки реагента (1).

Дозировка вяжущего. Преобладающая тенденция — повышение эффективности действия добавки с увеличением ее дозировки. Наименьшие значения коэффициента фильтрации получены при дозировках

полимеров 0,8 и 1,0%, нефтепродуктов — 10—15% от веса сухого грунта.

Плотность грунтосмеси. При любой влажности грунта и дозировке реагентов с увеличением плотности грунтосмесей коэффициент фильтрации их уменьшается. Фактор плотности грунтосмеси имеет важное значение в уменьшении ее водопроницаемости.

Ряд исследователей [5] отмечали, что фильтрация через суспензию, приготовленную из почвы, обработанной полимерами К-4 и полиакриламидом, увеличивается по сравнению с контрольными образцами. Причина этого в недоучете величины плотности грунтосмесей. Клеющая способность полимеров увеличивается по мере уплотнения грунтосмеси, что ведет к более резкому снижению их K_f в диапазоне $\delta_{ск} = 1,6—1,7 \text{ г/см}^3$, по сравнению с лессовым грунтом без добавок.

ПОЛЕВЫЕ ОПЫТЫ

Для выявления эффективности грунтосмесей в натуре на опытном полигоне заложили 9 котлованов трапецидального сечения, каждый глубиной 1,4 м, шириной по дну 1,0 м и длиной 3,0 м с заложением откосов 1:1,5; на семи уложили антифильтрационные экраны толщиной 5,0 см.

Котлован 1. Экран из воздушно-сухого лессового грунта с добавкой 15—16% джаркурганской нефти; при $\delta_{ск} = 1,5—1,6 \text{ г/см}^3$ толщина экрана 5,0 см. Экран уменьшил фильтрационный расход, по сравнению с контрольным, в первый год наблюдения в 105 раз.

Котлован 2. Экран имеет защитный слой из лессового грунта ($w = 17—18\%$; $\delta_{ск} = 1,5—1,6 \text{ г/см}^3$, толщина 7—10 см). После устройства около одного месяца (в жаркий период времени) он не покрывался ни защитным слоем, ни водой, вследствие чего в нем образовались малозаметные мелкие трещины, что отразилось на его эффективности. Фильтрационный расход уменьшился в 62 раза.

Котлован 3 и 9 — контрольные (без экрана).

Котлован 4. Экран из лессового грунта, $w = 14\%$ с добавкой 10% джаркурганской нефти; толщина экрана 5 см, $\delta_{ск} = 1,4—1,5 \text{ г/см}^3$. В первый год работы экрана фильтрационный расход уменьшился, по сравнению с контрольным, в 13 раз; следует учесть, что плотность грунтосмеси значительно ниже рекомендованной на основании лабораторных опытов (1) и ниже, чем у экранов остальных котлованов.

Котлован 5. Экран из лессового грунта влажностью 17% с добавкой 0,5% (от веса сухого грунта) полимера полиакриламида. Из-за отсутствия нужного количества полимера толщина экрана составляет 3—4 см, плотность — $1,5 \text{ г/см}^3$. Экран покрыт защитным слоем из лессового грунта, толщина которого 7—10 см; плотность равна $1,5 \text{ г/см}^3$. В первый год наблюдения экран уменьшил, по сравнению с контрольным котлованом, фильтрационный расход в 15,5 раза.

Котлован 6. Экран состоит из лессового грунта, $w = 17—18\%$ с добавкой 0,5% полимера К-4, толщина экрана 5,0 см, $\delta_{ск} = 1,5 \text{ г/см}^3$. Экран покрыт защитным слоем из лессового грунта, $w = 17—18\%$, $\delta = 1,5—1,6 \text{ г/см}^3$, толщина 7—10 см.

После его устройства фильтрационный расход уменьшился в 15 раз, по сравнению с тем же котлованом без экрана.

Котлован 7. Экран из воздушно-сухого грунта с добавкой 15% отходов нефтепродуктов (широкая фракция нефти с 20% гачи); толщина около 5,0 см, $\delta_{ск} = 1,5—1,6 \text{ г/см}^3$. Экран покрыт защитным слоем из лессового грунта ($w = 17\%$) толщиной 7—10 см. В первый год ра-

Номер кот-лована	Материал экрана	Год соору-жения	Наличие защитного слоя (7-10 см)	Период сработки	Диапазон сработки горизонта воды, мм	Потери с 1 м ² водной поверхности, м ³ /сутки			Кратность умень-шения фильтра-ционного расхода по сравнению с контрольным (в первый год наблюдения)
						общая потеря, Q	с поправкой на испарение, Q	с учетом температу-ры по Хазену, Q ₁₀	
1	Воздушно-сухой грунт + 15% нефти	1962	Нет	X-XI.1962	1100-1000	0,0051	0,0045	0,0047	105
2	То же	1963	Есть	XI.1963	1100-1000	0,00907	0,0078	0,00817	61,5
3	Без экрана (контроль-ный)	1962	Нет	X-XI.1963	1100-1000	0,511	0,5108	0,5260	} 0,493
9	То же	1963	"	X-XI.1963	1100-1000	0,460	0,4597	0,4597	
4	Грунт (w = 14%) + + 10% нефти . . .	1962	"	X.1962	1100-1000	0,045	0,0430	0,0384	13
5	Грунт (w = 18%) + + 0,5% пазилла . .	1963	Есть	X.1963	1100-1000	0,0325	0,0311	0,0321	15,5
6	Грунт (w = 18) + + 0,5% К-4	1963	"	XI.1963	1100-1000	0,0858	0,0845	0,0871	14,5
7	Воздушно-сухой грунт + 15% смеси (широкая фракция с гачей)	1963	"	IX-X.1963	1100-1000	0,0122	0,0105	0,0105	47,0
8	Воздушно-сухой грунт + 15% неф-ти с хлопковым гузроном	1963	"	IX-X.1963	1100-1000	0,0061	0,00477	0,00507	97,0

боты экрана фильтрационные потери уменьшились в 47 раз (сравнительно с контрольным).

Котлован 8. Экран состоит из воздушно-сухого грунта с добавкой 15% джаркурганской нефти, содержащей 3% от веса нефти хлопкового гудрона (поверхностноактивная добавка). Толщина экрана 5,0 см, $\delta_{ск} = 1,5-1,6 \text{ г/см}^3$. Экран покрыт защитным слоем толщиной 7-10 см, $\delta_{ск} = 1,5 \text{ г/см}^3$. В первый год наблюдения фильтрационный расход уменьшился в 97 раз. Для выяснения возможности уменьшения водопроницаемости лессовых грунтов добавками полимеров полиакриламида и К-4 проведено около 400 опытов; добавками джаркурганской нефти и продуктов ее переработки — 200 [1,9].

Данные исследований позволяют сделать следующие выводы.

Наиболее эффективными дозировками полимеров, по нашему мнению, являются 0,5-1% (при $\delta_{ск} = 1,6-1,7 \text{ г/см}^3$ и $w = 10-18\%$), при которых значения K_f достигают $n \cdot 10^{-7} - n \cdot 10^{-8} \text{ см/сек}$: джаркурганской нефти — 10% при $\delta_{ск} = 1,6-1,7 \text{ г/см}^3$ с $w = 10-14\%$. В случае использования воздушно-сухого грунта дозировка нефти повышается до 15%; оптимальные дозировки отходов нефтепродуктов и нефти достаточно близки.

Проверка в натурных условиях подтвердила выводы, сделанные на основании лабораторных опытов.

Лессовые грунты с добавкой джаркурганской нефти и продуктов ее переработки при плотности $\delta_{ск} = 1,5-1,6 \text{ г/см}^3$ снижают водопроницаемость (по потерям на фильтрацию) в 100 раз и более, а с добавкой полимеров — в 15-16 раз.

Наблюдения за экранированными котлованами, а также некоторые химические анализы материала экранов из нефтегрунта позволяют сделать выводы о желательности защиты экранов от непосредственного воздействия климатических факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Урманова Г. Л., Талабаев К. Т. К вопросу о возможности использования джаркурганской нефти и продуктов ее переработки для снижения водопроницаемости лессовых грунтов, ДАН УзССР, 1962, № 9.
2. „Высокомолекулярные соединения“, 1930, № 3.
3. „Журнал прикладной химии“, т. XXXII, вып. 8, 1959.
4. „Химия и технология полимеров“, 1959, № 9.
5. Гуминовые и полимерные препараты в сельском хозяйстве, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1961.
6. Ходжаев Г. Х. [и др.]. Нефти Узбекистана, Изд-во АН УзССР, 1958.
7. Бурнаев Н. А. Гравийно-нефтяные дорожные покрытия Узбекистана, Ташкент, 1961.
8. Наметкин С. С. Химия нефти, М. — Л., 1939.

И. УСМАНОВ

НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТРУБ ЗАКРЫТОГО ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ДРЕНАЖА

Одна из причин, тормозящих широкое распространение закрытого горизонтального дренажа при мелиорации засоленных орошаемых земель в районах Средней Азии — отсутствие эффективного материала для изготовления дренажных труб.

Дренажные трубы должны быть стойкими к сильному агрессивному действию засоленных грунтовых вод, экономичными, не терять качеств при высоких летних температурах. К материалу для их изготовления в засоленных районах Средней Азии предъявляются высокие требования: он должен быть прочен, коррозиоустойчив, дешев, недефицитен и позволять применение простой технологии изготовления труб.

В настоящее время еще нет такого материала, который удовлетворял бы всем выше перечисленным требованиям. В лаборатории строительных материалов в 1962 г. проведены опыты по разработке материалов для изготовления дренажных труб, которые могли бы быть использованы для устройства дренажа на засоленных орошаемых землях Голодной степи.

Исследования показали, что одним из перспективных материалов для формовки дренажных труб может быть пористый пластораствор, приготовленный на синтетической смоле — мономере „ФА“. В качестве заполнителя обычно применяют кислотостойкие каменные породы (кварцевые пески, молотый андезит), так как пласторастворы на обычных (некислотостойких) заполнителях при увлажнении теряют прочность в результате химического взаимодействия заполнителей с отвердителем мономера „ФА“ — бензолсульфокислотой.

Однако наиболее доступным материалом для изготовления пласторастворов является обычный речной песок при использовании в качестве вяжущего смеси мономера с отходами дифенильной смолы (отходы продуктов переработки нефти). Это придает растворам свойство гидрофобности (несмачиваемости). Образцы такого пластораствора не снижают прочности при длительном хранении в воде.

Мы использовали речной песок специального гранулометрического состава и различные дозировки вяжущего — 4 — 6% от веса заполнителя. Приготовление раствора осуществлялось следующим образом: определенные навески песка и мономера „ФА“ с отходами дифенильной смолы тщательно перемешивали в течение 4—5 мин., затем добавляли отвердитель (30% от веса вяжущего), подогретый до температуры 40°, после чего всю смесь перемешивали в продолжение 4 мин.

Ниже приводятся результаты опытов, проведенных в 1963 г. по

исследованию прочности и долговечности дренажных труб, изготовленных из пористого пластораствора.

На рис. 1 показаны кривые изменения прочности пласторастворов, приготовленных на заполнителях различного гранулометрического состава, в зависимости от дозировки вяжущего. Образцы из смеси мономера „ФА“ и отходов дифенильной смолы при агрессивноводном хранении не потеряли прочности в течение одного года (рис. 2). Из оптимального состава раствора способом трамбовки и вибрирования на вибростоле изготовлены пористые дренажные трубы (длина 70 см, внешний диаметр 20 см, внутренний — 15). Прочность таких труб на поперечное раздавливание зависит от вида уплотнения, толщины стенок и диаметра; в данном случае она равна 1900—2100 кг/пог.м.

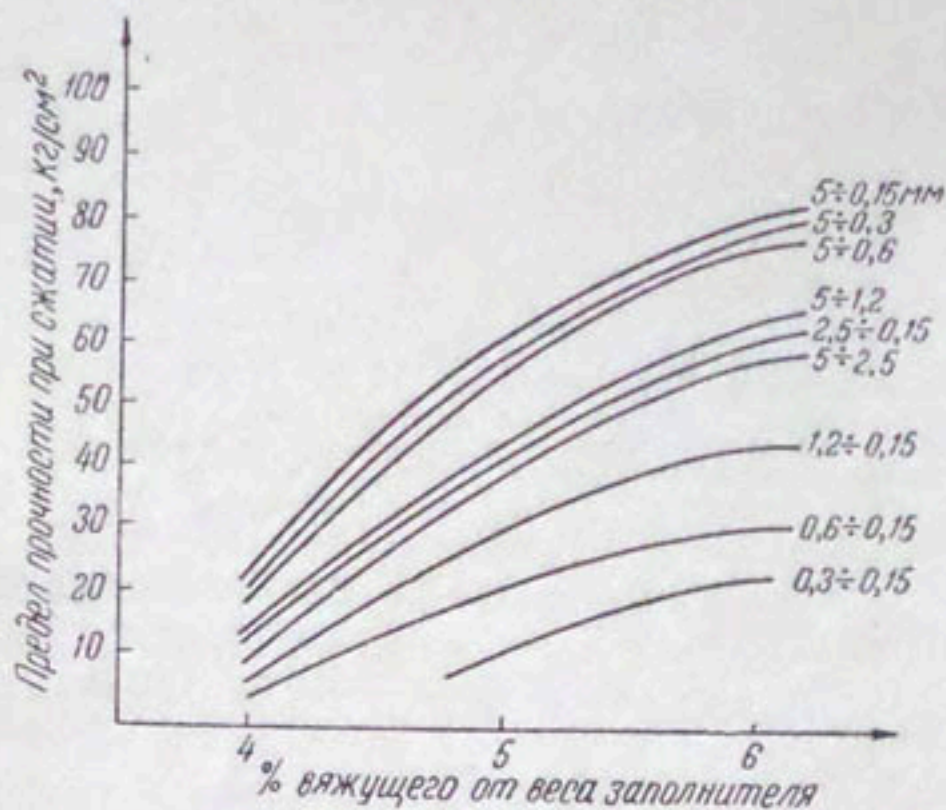


Рис. 1. Изменение прочности пористого пластораствора в зависимости от количества вяжущего.

Фильтрующую способность и заиляемость труб испытывали на специально сконструированном нами стенде, водопроницаемость определяли при различных напорах воды (с засыпкой грунта и без засыпки).

В этом же году были продолжены исследования материала для труб закрытого горизонтального дренажа.

Ранее отмечалось, что взамен дорогостоящих асбоцементных и гончарных, можно применять трубы, изготовленные из строительного гипса, что обходится намного дешевле. Известно, что УзССР по запасам этого сырья занимает первое место среди других республик Советского Союза. Но применение строительного гипса для водохозяйственного строительства ограничивается его малой водостойкостью.

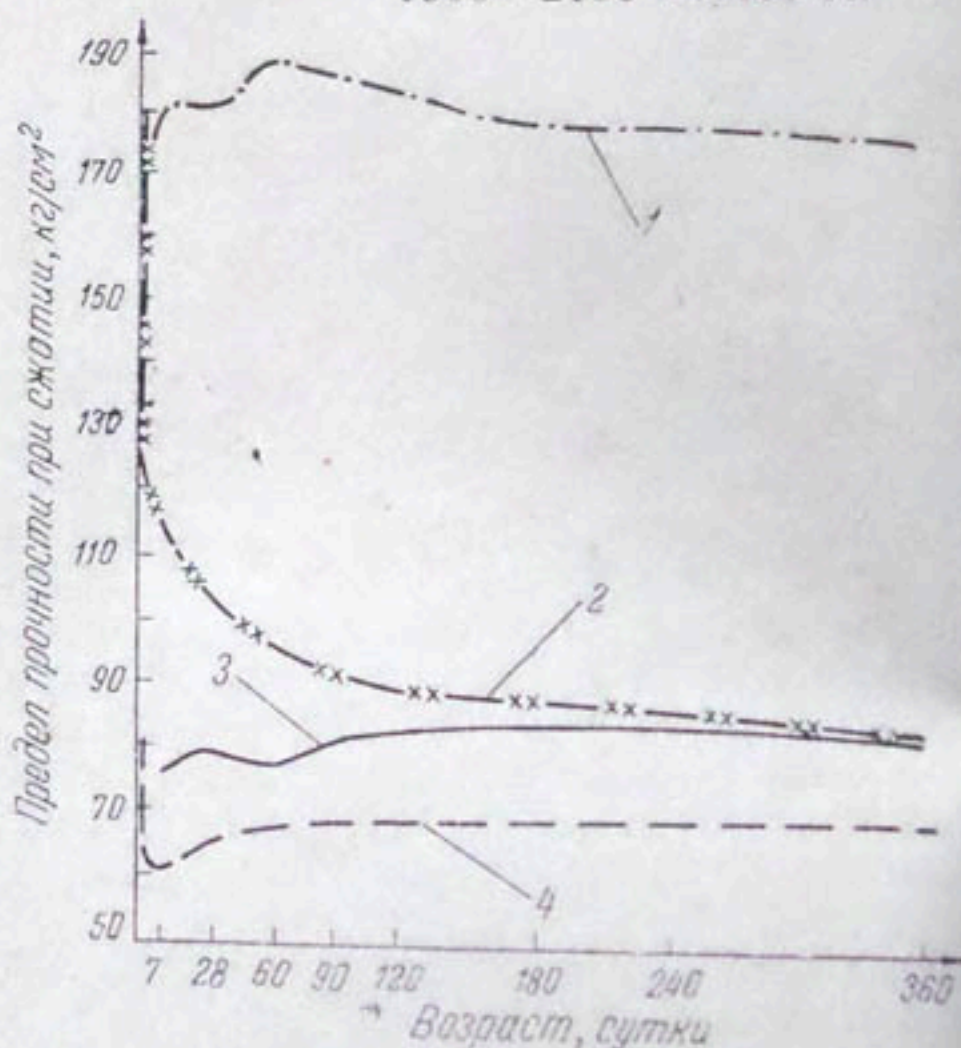


Рис. 2. Изменение прочности образцов, хранившихся в различных условиях твердения.

1—на чистом мономере „ФА“, комнатное хранение; 2—то же, водное; 3—на смеси мономера „ФА“ и отходов дифенильной смолы, комнатное хранение; 4—то же, водное.

Состав и метод изготовления труб	Количество воды, прошедшее через 1 пог·м в течение суток, л							
	без засыпки грунта			с засыпкой грунта, толщина слоя 20 см				
	напор воды, см							
	15	35	50	15	35	50	75	105
Из смеси мономера „ФА“ и отходов дифенильной смолы (6%); песок крупности 5 ÷ ÷ 0,6 мм, трамбование	2210	5200	11 880	17,5	61	140,1	196	235
Состав такой же, вибрирование	2860	6495	14 865	21,81	76	175,5	245	294

В настоящее время разработан способ получения водостойких гипсовых изделий (рекомендация проф. Волженского). Испытания образцов, изготовленных из смеси гипса, опоки и цемента (рис. 3), показали, что их устойчивость при длительном хранении в агрессивноводной среде не снижается, а, наоборот, увеличивается, как у гидравлических вяжущих. Прочность отлитых из этого раствора труб на продольное раздавливание — 1500 кг/пог·м (внешний диаметр 200 мм, внутренний — 150). Работа по изготовлению гипсовых дренажных труб проста и нетрудоемка.

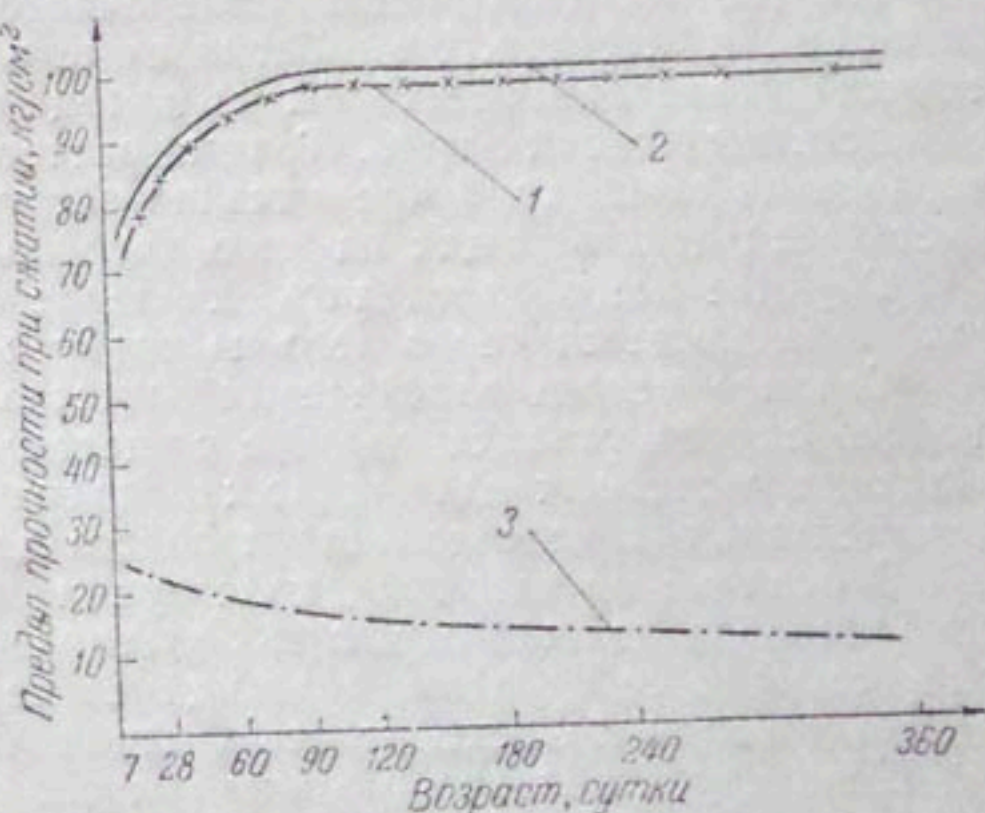


Рис. 3. Изменение прочности гипсовых растворов с добавками в зависимости от возраста (водное хранение).

1—опока 20%, цемент 20, гипс 60; 2—то же плюс акриламид 0,002%; 3—на чистом гипсе.

Следовательно образцы, изготовленные из трехкомпонентного вяжущего (гипс, цемент, опока) смеси мономера „ФА“ с отходами дифенильной смолы, имеют достаточно высокую прочность, которая не снижается при длительном хранении этих материалов в воде и водноагрессивной среде.

Данные опытов подтверждают, что трубы, изготовленные из пористого пластора раствора, обладают хорошей фильтрующей способностью.

А. Я. САЙГАНОВ

МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ДЛЯ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ТО НКОСТЕННЫХ ТРУБ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ГРУНТА

Массовое внедрение армоцементных безнапорных труб и труб из новых стройматериалов — задача, решение которой обеспечит дальнейшее снижение себестоимости строительства, явится дополнительным резервом экономии металла в народном хозяйстве и создаст базу для перехода на закрытые системы орошения.

По степени деформации поперечного сечения трубы разделяются на гибкие и жесткие. Разрабатываемые в лаборатории сборных конструкций тонкостенные трубы из армоцемента относятся к категории тонкостенных гибких труб. Точный расчет уложенного в земле трубопровода из таких труб чрезвычайно затруднен в связи со сложностью учета всех действующих на него нагрузок.

Труднее всего определить давление грунта от временных нагрузок, передающееся через него на трубу с поверхности земли.

Точного метода определения расчетной нагрузки от засыпки для любого случая укладки труб не существует; наиболее приближенное значение расчетных данных можно получить только в результате экспериментальных исследований процесса действия нагрузок.

В отличие от наземных конструкций расчетная схема подземного трубопровода должна отражать взаимодействие этого сооружения с окружающим ее грунтом, являющимся не только нагрузкой, но и средой, в которой происходит деформация трубы.

Если труба обладает большой жесткостью, то среда является опорой, уравнивающей нагрузку. Если труба достаточно гибкая, то при деформации от действия активных сил ее стенки встречают сопротивление грунта, в результате чего изгибающие моменты значительно уменьшаются, а несущая способность трубы увеличивается.

При механических испытаниях на прессе жесткой трубы можно определить ее несущую способность, величина которой в какой-то степени будет приближаться к фактической несущей способности трубы, уложенной в земле. Определение несущей способности гибкой трубы механическим испытанием на прессе связано с большими трудностями.

Для изучения работы гибкой трубы, уложенной в земле, и определения несущей способности с учетом активного и пассивного бокового отпора грунта в лаборатории сборных конструкций САНИИВПиГ разработана методика испытаний и смонтирована специальная установка, в которой гибкая труба испытывается под давлением грунта, соответствующим расчетной схеме нагрузок для трубы, уложенной в земле.

Установка для испытаний труб на прочность состоит из сборно-разборной металлической камеры, в которую укладывается и засыпается грунтом испытуемый образец трубы длиной в 1 м (рис. 1). В верхней части установка снабжена двойной крышкой (1 и 3). Одна из крышек (1) свободно может перемещаться внутри установки, изменяя ее внутренний объем. Между крышками помещается резиновая камера (2) соединенная с ресивером компрессора резиновым шлангом.

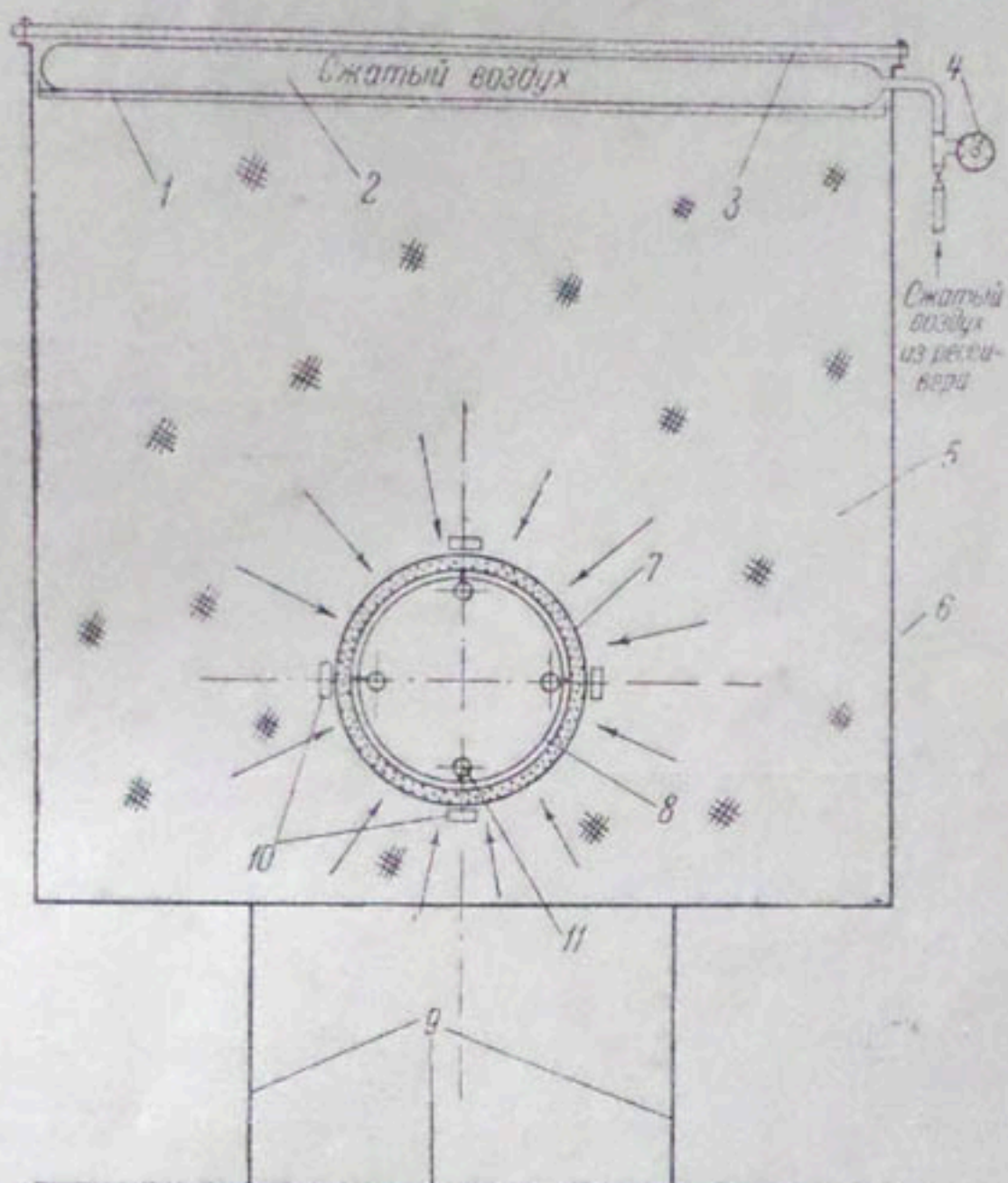


Рис. 1. Схема статического испытания трубы под действием грунта.

1—металлический щит с ребрами жесткости; 2—резиновый баллон; 3—крышка стенда; 4—манометр; 5—грунт; 6—металлический корпус стенда; 7—испытуемая труба; 8—устройство для крепления индикаторов внутри трубы; 9—основание стенда; 10—гидравлические мешки; 11—индикаторы.

Равномерно распределенное давление от резиновой камеры через нижнюю крышку передается на поверхность грунта, в толще которого установлена испытуемая труба. При увеличении давления внутри резиновой камеры до 6 атм можно получить вертикальную равномерно распределенную нагрузку до 90 т, которая будет передаваться на поверхность трубы через находящийся над ней грунт. Предварительные испытания жестких труб производили при отношениях между шириной траншеи (В) и наружным диаметром трубы (D_1) в пределах двух и при плотной утрамбовке насух, в которых полное вертикальное давление определяется по формуле

$$G = P_v \cdot K_{тр} \cdot \gamma \cdot H \cdot \frac{B + D}{2}, \quad (1)$$

где Π_v — коэффициент перегрузки,

γ — объемный вес грунта,

H — глубина засыпки трубы,

B — ширина траншеи,

$K_{тр}$ — коэффициент вертикального давления грунта в траншее,

D_1 — наружный диаметр трубы.

Расчетной нагрузкой при предварительных опытах приняты:
 $H = 80$ см, $P_t = 4,11$ т/м² для НГ = 60, $B = 150$ см; $D_1 = 75$ см.

Объемный вес определен непосредственным измерением после уплотнения грунта.

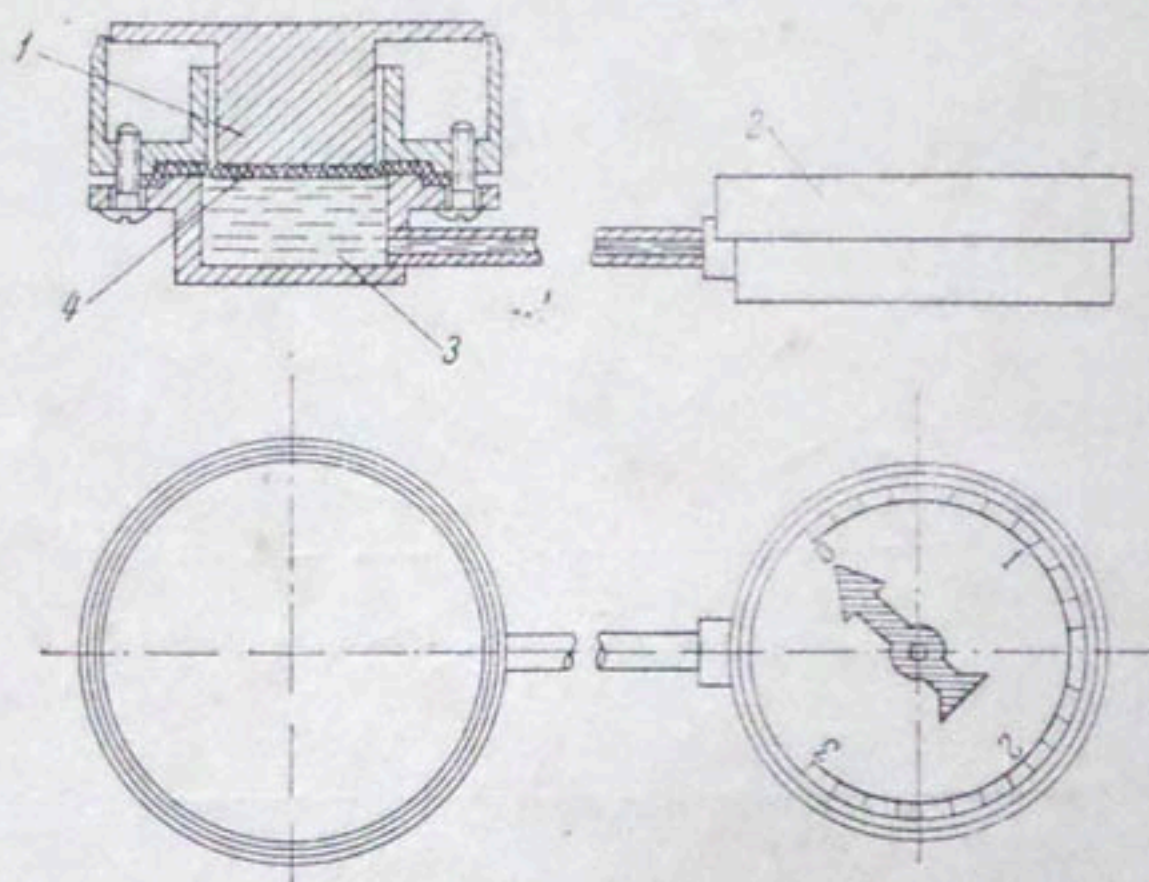


Рис. 2. Гидравлическая мессдоза для определения давления грунта

1 — диск, воспринимающий давление грунта; 2 — манометр; 3 — жидкость;
4 — резиновая прокладка.

Результаты полного вертикального давления, полученные непосредственным измерением гидравлической мессдозой, отличались от результатов подсчетов по формуле (1) на 10—15%.

Разницу между теоретическими и средними экспериментальными данными можно объяснить неточной величиной коэффициента перегрузки и коэффициента вертикального давления грунта.

Увеличение несущей способности гибкой трубы в результате деформации учитывается коэффициентом S , на который должны быть умножены значения изгибающих моментов в стенке трубы от действия на нее нагрузки и опорной реакции.

Сравнивая возникающие напряжения в стенках трубы при механических испытаниях на прессе и испытании в камере с грунтом при одинаковых эквивалентных нагрузках, можно уточнить коэффициент S при разных грунтах и разных углах обхвата трубы опорой.

Статические испытания труб под действием грунта в камере производятся в следующей последовательности (рис. 1). На подготовленное основание из грунта на дне камеры укладывается труба. Специальным устройством внутри испытуемой трубы устанавливается восемь индикаторов для определения деформации ее поперечного сечения при различных вертикальных и горизонтальных нагрузках.

Во время засыпки грунтом на ее наружной поверхности в четырех точках устанавливают гидравлические месдозы, тщательно послойно уплотняют грунт и определяют его объемный вес.

После засыпки камеры грунтом кладется металлический щит с ребрами жесткости, на который укладывают резиновый баллон, и камеру закрывают металлической крышкой. Поднимая давление в резиновом баллоне, постепенно увеличивают нагрузку на поверхность трубы.

Расчетная величина пневмопригрузки и вес грунта в камере над трубой должны быть равны эквивалентной величине внешних нагрузок от засыпки грунтом и временной нагрузке на поверхности земли от транспорта. Возникающие напряжения на наружной и внутренней поверхности испытываемой трубы определяют тензодатчиками сопротивления при различных величинах пневмопригрузки. Испытания труб под действием грунта дадут возможность определить величину деформации в горизонтальном и вертикальном направлениях индикаторами и установить давление грунта в различных точках поверхности трубы гидравлическими месдозами в зависимости от изменения пневмопригрузки и различных свойств грунта при различных видах опирания трубы.

Гидравлическая месдоза, разработанная автором в лаборатории сборных конструкций, представляет металлический цилиндр, в котором свободно перемещается поршень, снабженный диском в верхней поверхности (рис. 2).

Диаметр диска подобран таким образом, что его площадь в 5 раз больше площади нижней поверхности самого поршня.

Удельное давление грунта на поверхность диска через резиновую прокладку передается на жидкость с пятикратным увеличением. Давление жидкости в цилиндре через медную трубку диаметром в 6 мм и длиной 50—60 см передается к манометру, находящемуся в период испытаний за пределами камеры.

Пятикратное увеличение передаваемого усилия на поверхность жидкости вызвано необходимостью определить незначительное давление грунта (в пределах $0,02 \text{ кг/см}^2$) на поверхность диска, а следовательно, и на поверхность испытываемой трубы в местах расположения месдоз. Устанавливая месдозу горизонтально или вертикально, можно измерить как вертикальные, так и горизонтальные усилия, действующие на поверхность трубы.

Испытания труб в этой камере дадут возможность найти их несущую способность, соответствующую несущей способности и трещиностойкости труб, уложенных в земле, а также изучить величину влияния бокового отпора в зависимости от вида опирания трубы на дно траншеи и вида грунта.

В. А. МАРКИН

АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕТА ВОДЫ НА БОЛЬШОМ ГИССАРСКОМ КАНАЛЕ

Учет оросительной воды на ирригационных системах не отвечает требованиям современной автоматизации и телемеханизации. САНИИВПиГ провел большую работу по созданию водомерных сооружений, обеспечивающих необходимую оперативность в вододелении и точность в учете расходов воды. С этой целью в ноябре 1962 г. сотрудники лаборатории автоматизации совместно с представителями Гиссарского долинного управления оросительных систем провели реконсцировочные обследования гидротехнических сооружений БГК.

Намечалось провести следующие мероприятия:

1) исследование работы сооружений БГК с целью установления мероприятий по превращению их в водомерные и выявление групп сооружений, сходных по работе;

2) разработка рекомендаций для проектирования мероприятий по реконструкции сооружений в водомерные;

3) консультации с оказанием помощи при проектировании мероприятий по реконструкции сооружений в водомерные;

4) то же при реконструкции сооружений в водомерные;

5) установка и наладка приборов; производственные исследования их работы и наблюдения во время эксплуатации. Исследования проводились в полевых и лабораторных условиях.

Большой Гиссарский канал орошает Гиссарскую долину Тадж ССР. Водозабор осуществляется из р. Душанбе. Протяженность канала около 50 км. Нормальный расход $Q = 57 \text{ м}^3/\text{сек}$. На канале 24 сооружения; под реконструкцию намечено 21. Сооружение канала Кампыр-Кала II в план реконструкции не включено, так как на нем раньше был построен водомерный порог типа ВПС. Головное сооружение и регулятор канала Душанбинская ветка в план реконструкции также не включены, но рекомендуется строительство водомерных порогов типа ВПС. Перегораживающие сооружения на канале отсутствуют.

К водомерам-регуляторам с автоматизированным учетом расходов воды посредством водоучитывающих приборов относятся: трубчатые с насадкой в конце трубы; с кольцом сужения в трубе и водомерные приставки с регуляторами трубчатого и открытого типа.

Отличие водомера-регулятора с водомерной приставкой от трубчатого с насадкой или кольцом заключается в следующем: 1) в качестве водомерного устройства используется короткое звено трубы круглого или прямоугольного сечения, помещаемого на входе сооружения; 2) пропускная способность сооружений с водомерной приставкой больше на 20—30% по сравнению с пропускной способностью водо-

меров-регуляторов с кольцом; 3) положение водомерной приставки перед щитом сооружения позволяет иметь свободное истечение в нижний бьеф из-под щита (при расходах с прикрытым щитом на $0,25 d(a)$ и более). Для водомеров с насадкой и кольцом сужения, затопление трубы со стороны нижнего бьефа является обязательным при любых расходах и положениях щита.

Расход воды, проходящей через трубчатые водомеры-регуляторы и приставки, есть функция одной переменной, а именно, перепада давления, создаваемого местным сопротивлением. В первых двух водомерах местным сопротивлением является насадок или кольцо у выхода из трубы, в водомерных приставках — вход в трубу приставки.

На БГК многие сооружения при минимальном, а некоторые и при нормальном расходе воды в отводе имеют свободное истечение и

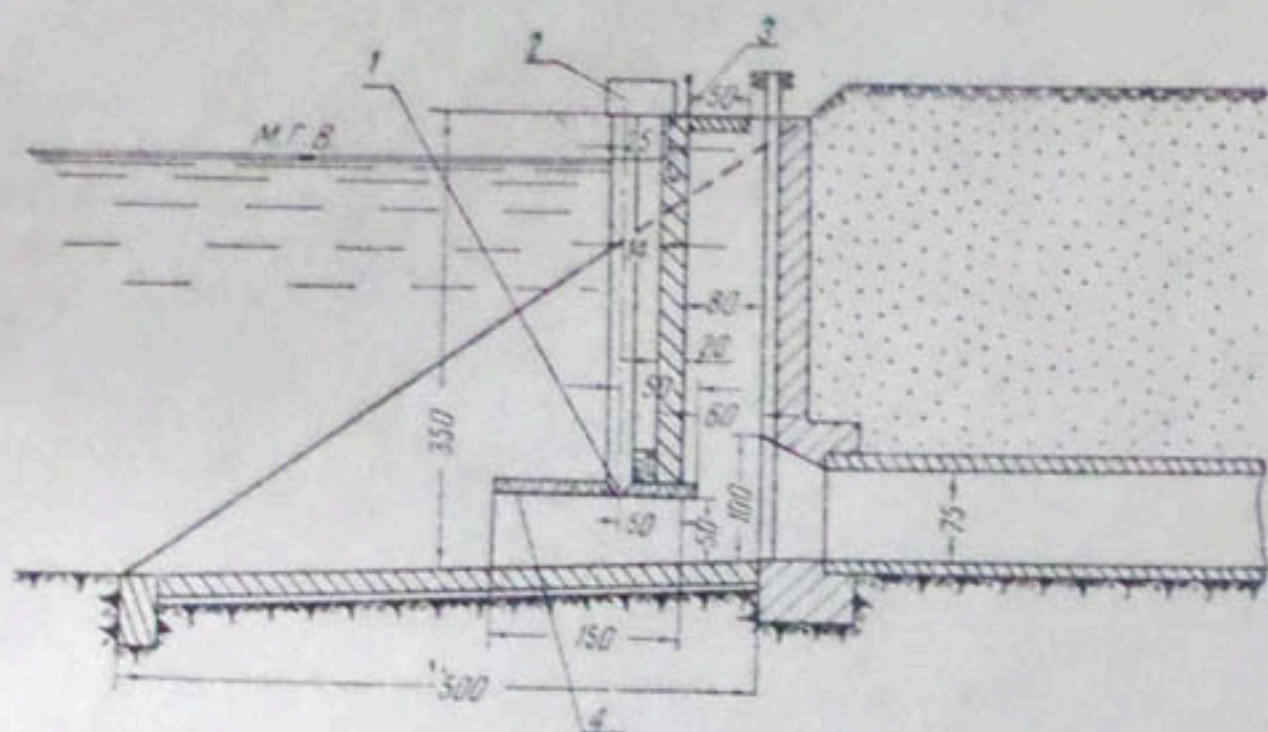


Рис. 1. Трубчатый регулятор с водомерной приставкой.

1— отверстие для патрубка; 2— коробка для прибора расхода-указателя ДРС; 3— анкеры с резьбой для крепления коробки водоизмеряющего прибора; 4— водомерная приставка прямоугольного сечения.

только при максимальном расходе — затопленное истечение через трубчатые водовыпуски. При таком режиме работы устройство трубчатого водомера с насадкой или кольцом невозможно, так как с применением водоизмерительных приборов данный тип водомера-регулятора будет работать только до тех пор, пока будет затопление его трубы с нижнего бьефа. Поэтому для БГК были рекомендованы водомерные приставки на входе.

Водомерная приставка — короткая труба круглого или прямоугольного сечения длиной L от одного до трех диаметров D или высот a сечения входа. Нашей лабораторией разработаны и испытаны три вида водомерных приставок: 1) с косым входом круглого и прямоугольного сечения, с углом наклона плоскости входа к оси трубы $\varphi < 90^\circ$; 2) с прямым входом круглого и прямоугольного сечения ($\varphi = 90^\circ$); 3) с непараллельными боковыми стенками прямоугольного сечения с косым и прямым входом. Плоский затвор помещается у выходного сечения трубы приставки или относится в специальную шахту.

На БГК были запроектированы водомерные приставки с прямым входом ($\varphi = 90^\circ$) прямоугольного сечения, с плоским затвором, отнесенным в шахту. Чертеж водомерного сооружения изображен на рис. 1 (длина трубы водомерной приставки $L = 150$ см). Принцип действия водомерной приставки следующий. При прохождении воды через трубу

приставки создается разность (перепад) давлений Z_x в сечениях верхнего бьефа (большее давление) и за входом, в трубе приставки (меньшее давление). Эта разность давлений характеризует величину расхода, т. е. $Q = f(Z_x)$.

По окончании проектирования и составления рабочих чертежей была начата реконструкция сооружений. В процессе реконструкции намеченных объектов нами давались консультации и оказывалась техническая помощь непосредственно на местах строительства. После

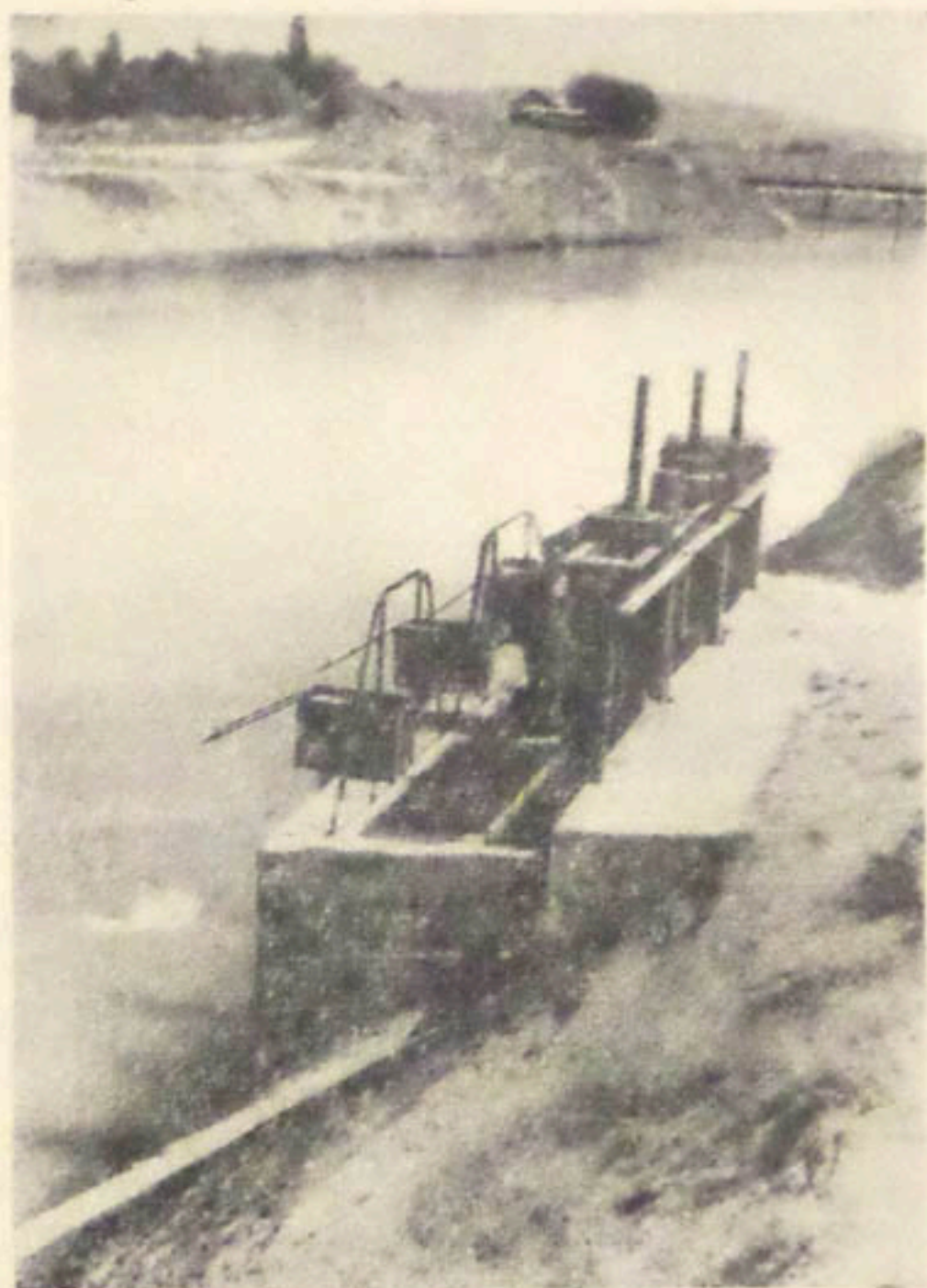


Рис. 2. Реконструированный водомер-регулятор на Большом Гиссарском канале.

завершения строительства водомерных сооружений произведен монтаж и наладка приборов, крепление болтами водомерного колодца (кожуха), установка прибора на кронштейне и заделка цементным раствором патрубка прибора.

Градуировку циферблата производили по второму варианту, т. е. по фактическому (замеренному) расходу воды трубчатого водомерного сооружения, когда коэффициент „К“ не известен. Исходными данными в этом случае являются: а) примерные размеры сооружения и перепад системы (Z_c); б) замеренный расход (Q_0) в отводе и угол (φ_0), отклонение стрелки прибора при этом расходе.

По примерным размерам сооружения „Д“ (или $a \times b$) и величине перепада системы (Z_c) подсчитывают максимальный расход, пропускаемый сооружением, и возможный водомерный перепад, для того чтобы

определить, на какой подвес прикреплять к прибору поршень с цепочкой.

Установив прибор в водомерном колодце и стрелку в нулевом положении на шкале циферблата, через сооружение пропускают постоянный расход воды (Q_0) и замеряют его вертушкой. По шкале циферблата прибора определяют угол отклонения стрелки в градусах. Задаются расходами через определенный интервал, после чего вычисляют соответственные углы отклонения стрелки прибора φ_i подсчетом по соотношению

$$\varphi_i = \varphi_0 \left(\frac{Q_i}{Q_0} \right)^2.$$

По полученным величинам углов φ_i и Q_i наносится расходная шкала на циферблат прибора.

Мы проводили контрольные замеры и наблюдения за работой водомеров-регуляторов с приборами ДРС-60 с целью выявления их положительных и отрицательных свойств в эксплуатационных условиях. Расхождения в расходах воды, замеренных вертушкой и по показанию прибора, не превышают 3%. Эксплуатационные затраты на реконструкцию сооружений не превышают 3—4% их стоимости.

В результате проведенной работы осуществлена полная автоматизация учета воды на сооружениях БГК и тем самым подготовлена база для телемеханизации канала. На рис. 2 показан реконструированный водомер-регулятор на Большом гиссарском канале.

С. М. ГОРЮНОВ

К ФИЛЬТРАЦИОННОМУ РАСЧЕТУ ВОДОВЫПУСКОВ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩ ИЛИ КАНАЛОВ

В теории фильтрации в основании сооружений достигнуты значительные успехи, в частности решение задач в плоскости. Ряд задач со сложным подземным контуром можно решить различными приближенными методами, например, методом фрагментов, предложенным Н. Н. Павловским, разработанным В. С. Козловым и др.; методом коэффициентов сопротивления Р. Р. Чугаева; методом конечных разностей и точными гидромеханическими методами [1, 2, 3].

Большое значение в решении задач фильтрации имеет предложенное Павловским моделирование явлений фильтрации методом электрогидродинамических аналогий (ЭГДА), основанное на математическом сходстве физических явлений фильтрующейся жидкости в пористой и электрического тока в электропроводной среде, связанных одним законом.

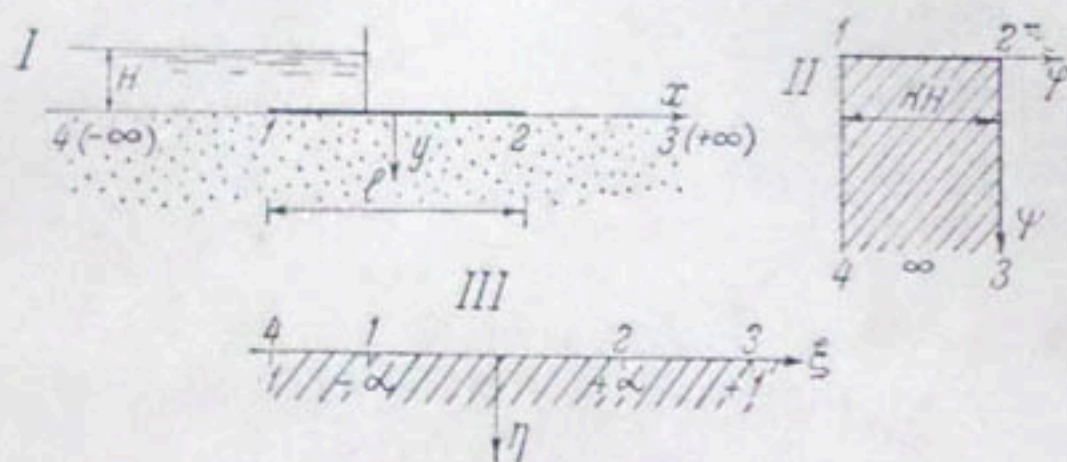


Рис. 1.

I — область фильтрации Z ; II — область комплексного потенциала ω ;
III — область ζ .

Исключительно велика роль способа ЭГДА в моделировании пространственной фильтрации, аналитического решения для которой не имеется или оно сводится к плоским задачам. Решение состоит из двух частей: фильтрации в вертикальной плоскости для осевого сечения и фильтрации в обход сооружений (плановая фильтрация).

К примеру, рассмотрим фильтрацию в основании водовыпусков из водохранилищ. При несложном подземном контуре можно пользоваться гидромеханическими решениями Н. Н. Павловского и Е. А. Замарина [1, 7]. Используя теорию функций комплексной переменной в реше-

нии для плоского бесшунтового флютбета в однородном основании, простирающемся на бесконечность (рис. 1), Павловский вывел функцию

$$\omega = \frac{\kappa H}{\pi} \operatorname{arccos} \frac{2Z}{l}, \quad (1)$$

дающую конформное отображение области комплексного потенциала $\omega = \varphi(x, y) + i\psi(x, y)$ на область фильтрации $Z = x + iy$ (H — напор на сооружение, l — длина сооружения, κ — коэффициент фильтрации грунта).

Для этого же типа флютбета, но при ограниченном водоупоре T , Замарин дает отображающие выражения через вспомогательную полуплоскость $\zeta = \xi + i\eta$ (рис. 1, III):

$$\zeta = \pm \operatorname{th} \frac{\pi Z}{2T}, \quad (2)$$

$$\operatorname{sn}^2 \left(\frac{K\omega}{\kappa H}, \lambda \right) = \frac{(1+\alpha)(\alpha-\xi)}{2\alpha(1-\xi)}, \quad (3)$$

$$\text{где } \alpha = \pm \operatorname{th} \frac{\pi l}{4T},$$

K — полный эллиптический интеграл первого рода при модуле

$$\lambda = \frac{2\sqrt{\alpha}}{1+\alpha};$$

H , l , κ — те же величины, что и в выражении (1).

Из уравнений (1, 2, 3) получены графические решения для определения давлений на подземный контур [2, 6, 7].

Вторая часть задачи определяет картину фильтрации за сооружением. Зона фильтрации является планом течения $Z = x + iy$ горизонтальной плоскости xOy . Она в данном случае состоит из прямых линий и отрезков и представляет прямолинейный многоугольник (рис. 2, а); область приведенного комплексного потенциала $\omega_r = \varphi_r + i\psi_r$ также состоит из прямых линий и отрезков (рис. 2, б).

С помощью интеграла Кристоффеля-Шварца получим в приближенном виде формулы для $l = 1$:

$$\left. \begin{aligned} x^2 - y^2 &= \frac{1}{2} (\cos \pi \varphi_r \cdot \operatorname{ch} \pi \psi_r + 1), \\ xy &= \frac{1}{4} \sin \pi \varphi_r \cdot \operatorname{sh} \pi \psi_r. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Давая значения $\varphi_r = 0; 0,1; 0,2 \dots 1$ при постоянных ψ_r , получим гидродинамическую сетку плана течения в приведенных значениях (рис. 3), позволяющую определить глубину потока и максимальный градиент в фокусе размыва (точка 3) на выходе фильтрационного потока в нижний бьеф.

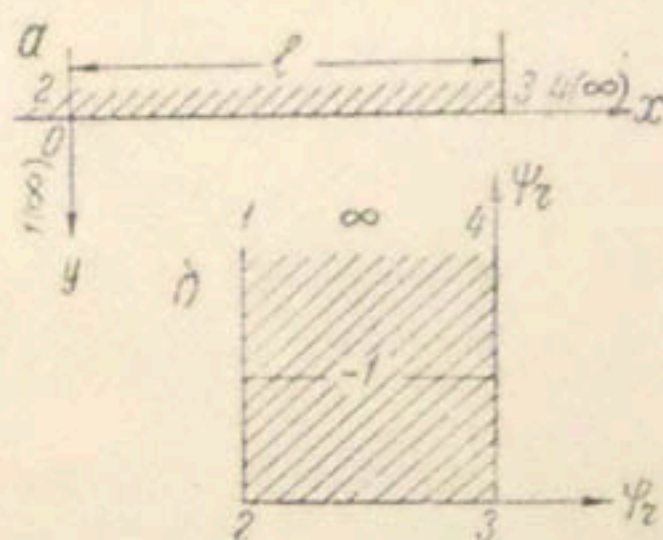


Рис. 2.

а — область фильтрации Z ; б — область приведенного комплексного потенциала фильтрации ω_r .

Однако аналитические решения по частям недостаточно отражают пространственную картину фильтрации. Применять их можно для сооружений, имеющих ширину, превышающую длину более чем в 1,5 раза.

Положение осложняется для узких ирригационных сооружений на сети, когда они имеют большую протяженность и малые поперечные размеры, что обуславливает резко выраженный пространственный ха-

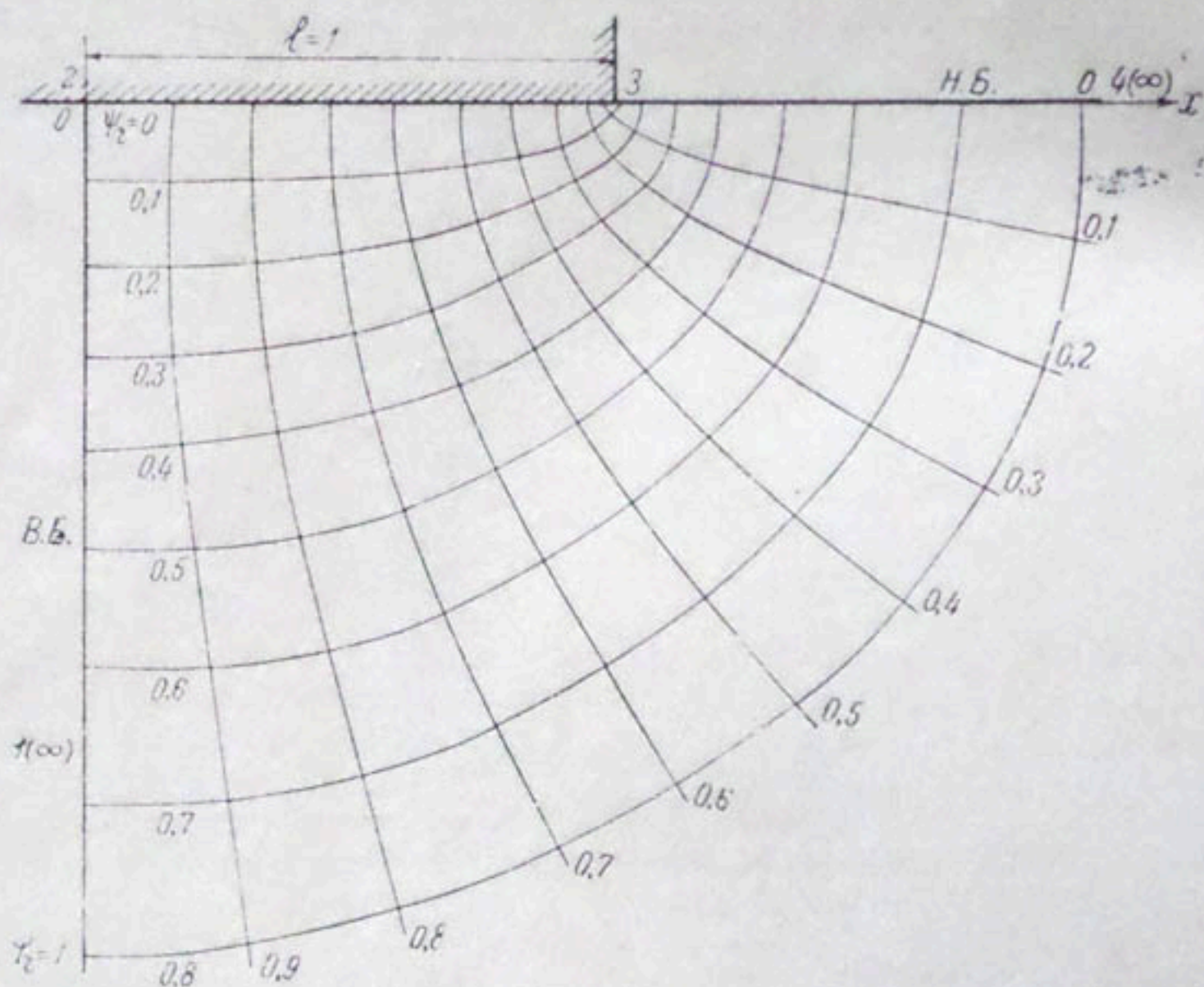


Рис. 3. Гидродинамическая сетка плана течения в обход водовыпусков из водохранилищ.

рактер фильтрации в их основании. Условия протекания потока при этом отличаются от принятых в плоской задаче, например, действие фильтрационного давления в низовой части сооружений ощущается в 2—3 раза сильнее.

Индивидуальное моделирование пространственным методом ЭГДА строящихся в большом количестве мелких ирригационных сооружений на сети встречает значительные трудности. Иногда задачи движения грунтовых вод под сооружениями основываются на решениях, учитывающих движение потока в одной плоскости или, что еще хуже, на приближенных методах прямой и приведенной контурной фильтрации (Бляй, Лен), что приводит к ненужным затратам.

В связи с этим, САНИИВПиГ провел работу по исследованию пространственной фильтрации для трех ирригационных сооружений на сети, различающихся условиями протекания фильтрационного потока.

По характеру фильтрации узкие ирригационные сооружения можно подразделить на три группы; каждая представляет расчетную схему.

К первой группе относятся водовыпуски из водохранилищ или каналов. Фильтрационный поток растекается с неограниченной ширины верхнего бьефа и стекается в нижний бьеф узкого отводящего кана-

да, собирающего профильтрованную воду. Движение грунтового потока непосредственно под сооружением — напорного характера.

Вторую группу представляют перепады-быстротоки, где фильтрационный поток растекается из узкого канала верхнего бьефа и стекается в нижний бьеф такого же по ширине отводящего канала. Благодаря большому перепаду под сооружением — напорно-безнапорное движение фильтрационного потока.

Следующую группу сооружений представляют акведуки и консольные сбросы. Фильтрационный поток здесь резко растекается из узкого канала к понижению неограниченной длины. Под сооружением образуется безнапорное движение потока. Расчет сводится к определению характера депрессии в осевом сечении и участка выклинивания грунтового потока с максимальными градиентами при выходе на поверхность высачивания.

В результате работы выведены расчетные графики различных параметров фильтрационного потока для соответствующих сооружений на ирригационной сети при однородном основании, по которым можно произвести расчет с учетом пространственной фильтрации, не прибегая к моделированию, что имеет важное значение при проектировании [5].

Изучение строения грунтов основания ирригационных сооружений на различных объектах, в частности в Голодной степи, показывает, что в ряде случаев мы имеем дело с разнородным основанием, где коэффициенты фильтрации сильно разнятся. Часто встречается следующее сочетание: верхний слой грунта с относительно малым коэффициентом фильтрации (мелкозем, супесь) подстилается слоем значительной мощности с большим коэффициентом фильтрации (песок, галечник).

Решение такого рода задачи предлагает Г. Н. Каменский. Давая понятие о среднем коэффициенте фильтрации, он основывается на равенстве расходов слоистой и однородной сред при равномерном движении потока, что гарантирует применение его формулы для большого диапазона соотношений коэффициентов фильтраций соседних слоев. Однако, если возьмем потенциал скорости потока при глубине h и непрерывно изменяющемся коэффициенте фильтрации по вертикали $k = f(z)$, который выражается формулой

$$\varphi = - \int_0^h k dz, \quad (5)$$

и приравняем к потенциалу скорости равноценного ему потока в однородной среде со средним коэффициентом фильтрации k_0 —

$$\varphi = - k_0 h, \quad (6)$$

получим величину среднего коэффициента фильтрации

$$k_0 = \frac{1}{h} \int_0^h k dz. \quad (7)$$

Для слоистой среды из равенства (7) выводим формулу Каменского:

$$k_0 = \frac{\sum k_n h_n}{h}, \quad (8)$$

где k_n , h_n — соответственно коэффициент фильтрации и мощность n -го слоя, $h = \sum h_n$.

Согласно выражению (7) формулу Каменского можно применить для слоистой среды с мало различающимися коэффициентами фильтраций контактирующих слоев. В условиях разнородных грунтов Каменский решил несколько задач для безнапорной фильтрации с использованием формулы Дюпюи.

Для напорной фильтрации Г. Н. Каменский и Н. К. Гиринский решили несколько фильтрационных задач (идеальные случаи) в двуслойном основании, где нижний слой считался абсолютно проницаемым, и показали, что величина напоров в начале флюتبета резко снижается и повышается в концевой его части, по сравнению с распределением напоров для того же сооружения в однородном грунте. Н. Я. Полубариновой-Кочиной [2] решена задача напорной фильтрации в двуслойном основании с одинаковой мощностью слоев. Развивая теорию фильтрации в разнородной среде Гиринский предложил на основе формулы Гаусса привести задачу о напорной фильтрации в неоднородных грунтах к задаче в однородном поле с источниками-линиями [3]. Указанные решения охватывают частные случаи, относящиеся к одной плоскости.

Плановая фильтрация развита в трудах В. И. Аравина, Н. К. Гиринского, Н. Я. Полубариновой-Кочиной и др. В условиях разнородных грунтов Гиринский [1] предложил потенциальную функцию для $\kappa = \kappa(z)$:

$$\varphi = - \int_0^h (z - h) \kappa dz, \quad (9)$$

где h — глубина потока, κ — коэффициент фильтрации, зависящий от вертикальной координаты z плана течения xoy .

При решении обходной фильтрации находят значения потенциалов Гиринского на границах водоемов области фильтрации (рис. 3) и по зависимости

$$\varphi = (\varphi_1 - \varphi_2)\varphi_r + \varphi_2 \quad (10)$$

(φ_1, φ_2 — потенциалы Гиринского на проницаемых границах верхнего и нижнего бьефов) выводят промежуточные значения; из функции (9) определяют глубину потока в любой точке области фильтрации.

Аналитические методы решения фильтрации в условиях разнородности основания применимы только для идеальных случаев, не учитывающих пространственные условия.

Для узких ирригационных сооружений, где фильтрационный поток имеет большие изменения как в горизонтальной, так и вертикальной плоскостях, особенно на выходе в нижний бьеф, задача должна решаться как пространственная с учетом разнородности основания.

Используя методику обобщения модельных исследований фильтрации в основаниях ирригационных сооружений, примененную Н. А. Цветковой [5], целесообразно найти пространственное решение задачи при двухслойном основании с большим коэффициентом фильтрации нижнего слоя при меняющихся размерах сооружения и толщине слоев основания.

Для этого вначале необходимо определить некоторые граничные условия (поверхность депрессии), что удобно получить, моделируя сооружения и основания в грунтовом лотке больших размеров. Следующий, основной, этап — выявление параметров фильтрационного потока (градиентов, напоров) при заданных граничных условиях в пространственной установке ЭГДА.

Нами выполнен лишь первый этап работы. Найдены поверхности депрессий фильтрационного потока для диапазона соотношений коэффициентов фильтраций верхнего и нижнего слоев $\alpha = k_1 : k_2$ (1:3—1:330); одной относительной ширины $\beta = B : L = 0,15$ (B —ширина, L —длина сооружения); трех относительных напоров $\gamma = H : L = 0,07; 0,11; 0,15$ (H —напор на сооружение) и четырех соотношений мощностей верхнего и нижнего слоев $\eta = T_1 : T_2 = 0,5; 0,75; 1,0; 2,0$. Проведенные в грунтовом лотке исследования охватывают группу дренированных и недренированных водовыпусков.

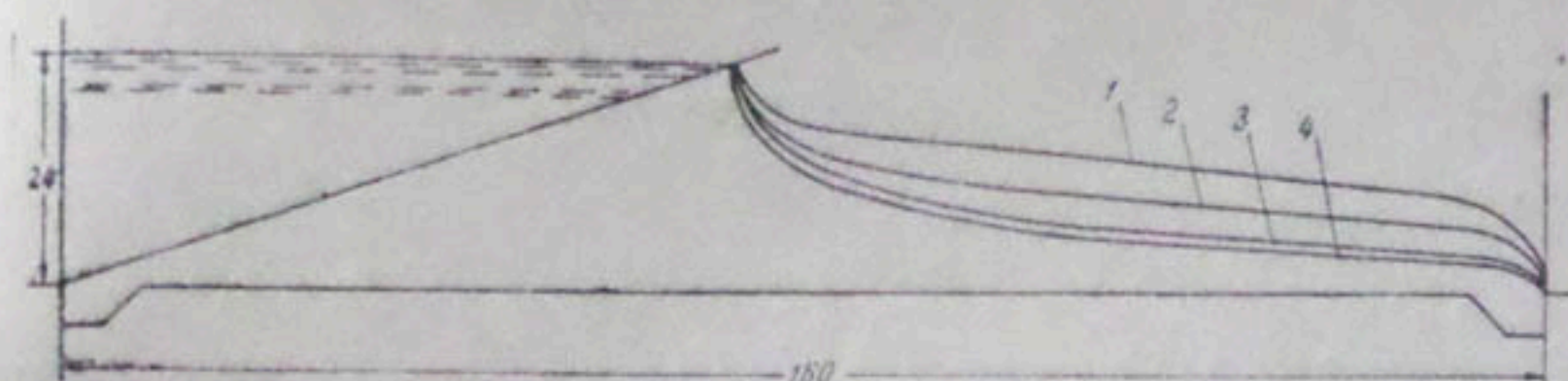


Рис. 4. Кривые депрессии по боковому сечению водовыпуска при постоянных $\beta = B : L = 0,15$, $\gamma = H : L = 0,15$, $\eta = \frac{T_2}{T_1}$ и различных $\alpha : 1 - \alpha = \frac{K_1}{K_2} = \frac{1}{3}$, $2 - \alpha = \frac{K_1}{K_2} = \frac{1}{31}$, $3 - \alpha = \frac{K_1}{K_2} = \frac{1}{110}$, $4 - \alpha = \frac{K_1}{K_2} = \frac{1}{330}$.

Данные исследований показывают, что наличие дренирующего слоя приводит к существенному уменьшению фильтрационных напоров в основании сооружений (см. сравнительные графики для однородного и двуслойного оснований — рис. 4), что может быть использовано для облегчения конструкций водовыпусков и других сооружений, устраиваемых на двуслойном основании с нижним дренирующим слоем.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аравин В. И., Нумеров С. Н. Теория движения жидкостей и газов в недеформируемой пористой среде, М., Госиздат, 1953.
2. Полубаринова-Кочина П. Я. Теория движения грунтовых вод, М., Госиздат, 1953.
3. Гиринский Н. К. Расчет фильтрации под гидротехническими сооружениями на неоднородных грунтах, М.—Л., Госиздат, 1941.
4. Каменский Г. Н. и др. Движение подземных вод в неоднородных пластах, М.—Л., ОНТИ, 1935.
5. Цветкова Н. А. Технические указания для фильтрационного расчета сооружений на оросительной сети, „Вопросы гидротехники“, вып. 11, Ташкент, Изд-во АН УзССР, 1963.
6. Павловский Н. Н. Собрание сочинений, т. II, М.—Л., Изд-во АН СССР, 1956.
7. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения, М., Госиздат, 1954.

Э. М. ОСТРОВСКИЙ

О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ УДАРНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ ТРАМБОВАНИИ ГРУНТОВ

Эффект трамбования грунтов зависит от параметров ударной нагрузки — веса трамбуемого органа Q , площади его основания F , высоты падения H и числа ударов n . Н. Я. Хархута [1] для количественной оценки внешнего воздействия на грунт при трамбовании использует величину удельного импульса трамбуемого органа:

$$i = \frac{Q \sqrt{2 g H}}{g F} = k q \sqrt{H} \frac{\text{кг} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}. \quad (1)$$

Здесь q — удельное статическое давление трамбуемого органа,
 k — постоянный коэффициент, зависящий от размерности q и H ,
 $k = 0,84$.

(Графически удельный импульс выражают площадью диаграммы в координатах $\sigma - \tau$, где σ — напряжение и τ — время удара).

М. Н. Троицкая [3], изучая процесс трамбования в лабораторных условиях, установила, что грунт, предварительно уплотненный ударной нагрузкой большего удельного импульса, не уплотняется от ударов меньшего.

Н. Я. Хархута [1] на основе укрупненной обработки результатов натурных наблюдений показал, что плотность уплотненного грунта является функцией прилагаемого удельного импульса.

Экспериментальные исследования последних лет в основном посвящены изучению развивающихся при ударе вертикальных сжимающих напряжений на контактной поверхности грунта и в его толще, а также послойной необратимой деформации грунта. Исследователи пришли к выводу, что расчет параметров ударной нагрузки должен базироваться на предположении зависимости деформации грунта от абсолютных значений сжимающих напряжений, времени удара τ и времени повышения напряженного состояния τ_1 [2].

При определении времени удара Н. Я. Хархута [3] рекомендует принимать во внимание только величину удельного импульса, а вес трамбуемого органа и высоту его падения учитывать лишь постольку, поскольку от них зависит импульс удара. Известно, что с увеличением кинетической энергии повышается эффект уплотнения; поэтому важно знать, как более выгодно увеличивать кинетическую энергию удара — повышением веса или увеличением высоты падения трамбуемого органа.

По мнению Хархута, повышение Q и соответствующее уменьшение H при постоянной величине работы удара дает большее увеличе-

ние эффекта уплотнения, так как при повышении Q увеличивается удельный импульс. Несмотря на то, что экспериментальная проверка этого вывода затруднительна, она привлекает внимание исследователей.

А. А. Акопов и Л. Ф. Саруханян [5] уплотняли грунт в приборе, аналогичном по конструкции прибору ДОРНИИ для стандартного уплотнения. Грунт засыпали в стакан и удары наносили по кольцу, на котором закреплена стойка для перемещения груза. Кольцо и стойка имели большой вес, и поэтому часть энергии удара погашалась в их массе. Вес груза изменяли в пределах 1—30 кг, высоту падения — 0,01—1,5 м, импульс удара — 1—3,9 кг/сек при постоянной работе удара $A = 2,75$ кгм. По мнению авторов, эффект уплотнения тем выше, чем больше вес груза, а следовательно, и импульс удара.

Один из недостатков проведенных экспериментов — отсутствие учета потерь энергии удара в массе кольца и стойки.

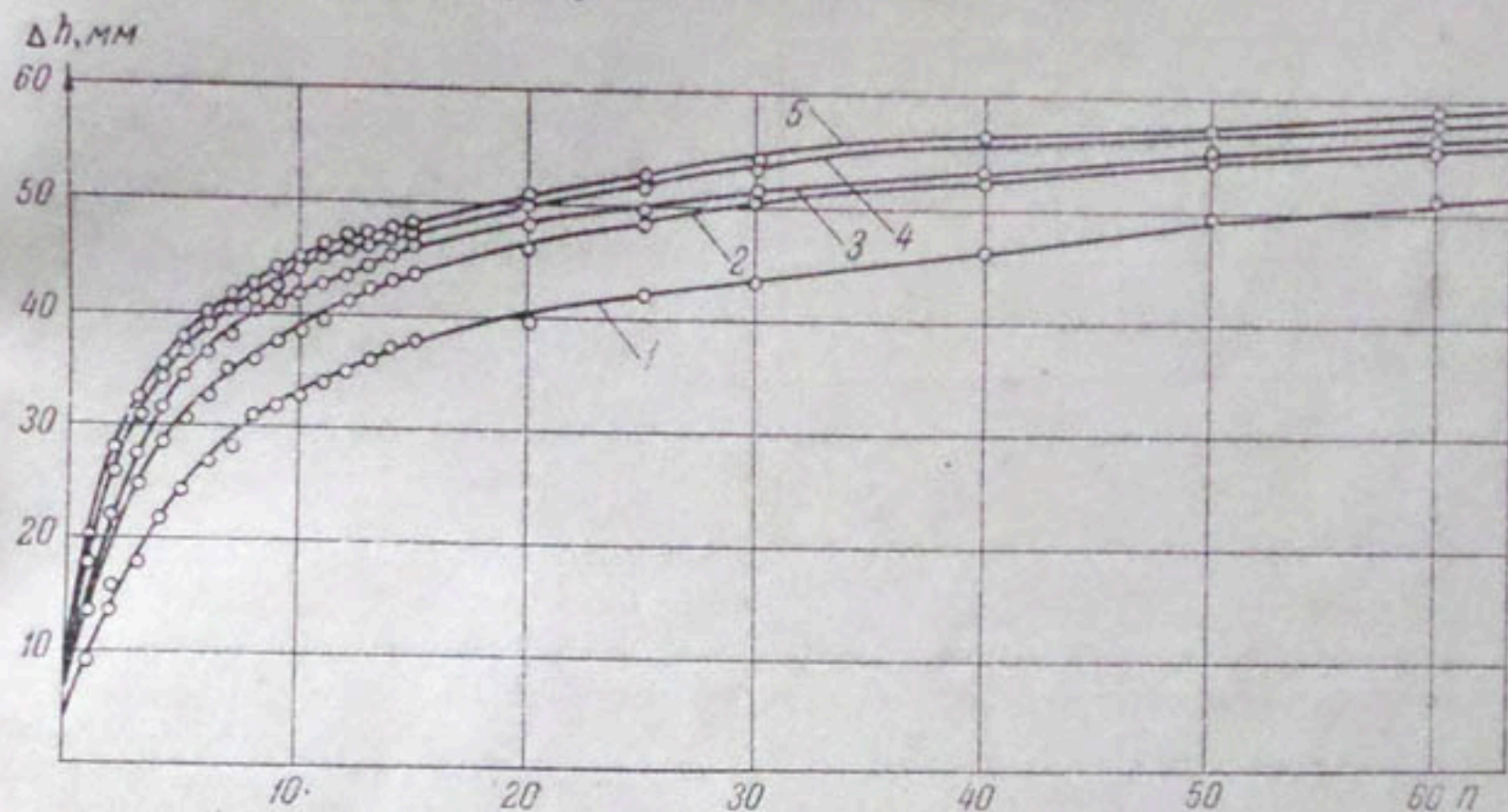


Рис. 1. Зависимость деформации грунта Δh от числа ударов груза n . Удельный импульс ударной нагрузки:

$$1 - 2,7 \frac{\text{г} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}; 2 - 4,7; 3 - 6,1; 4 - 7,2; 5 - 8,1 \frac{\text{г} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}.$$

С целью определения указанных потерь мы повторили аналогичные опыты. Уплотнение производили грузами 0,5—4,5 кг (высота падения 0,1—0,9 м). При постоянной работе $A = 0,45$ кгм удельный импульс удара изменяли от 2,7 до 8,1 $\frac{\text{г} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}$. Общая деформация поверхности образцов грунта после 80 ударов достигла ~ 60 мм при начальной высоте 209 и диаметре 100 мм (рис. 1). По расчетам, при числе ударов до 80 трехкратное увеличение удельного импульса дает прирост деформации грунта от 13 до 7 мм (в зависимости от числа ударов), а двухкратное — от 7,5 до 2,5 мм.

Коэффициент эффективности удара, характеризующий потери кинетической энергии, определили по формуле

$$k_{\text{эф}} = \frac{1}{1 + \frac{P}{Q}} - \frac{e^2}{1 + \frac{P}{Q}}, \quad (3)$$

где P — вес кольца и стойки $= 2,17 \text{ кг}$;

e — коэффициент восстановления при ударе.

В зависимости от соотношения $\frac{P}{Q}$ коэффициент эффективности изменился более чем в два раза, или от 37 до 83% энергии погасилось в массе кольца и стойки (рис. 2). В результате реализовались различные энергии ударов и, естественно, получен различный эффект, что особенно заметно в начальной стадии уплотнения. Кроме того, из графика видно, что чем больше $k_{\text{эф}}$, тем выше деформация грунта Δh . При $k_{\text{эф}} = \text{const}$ она оставалась бы стабильной, несмотря на изменение веса груза Q .

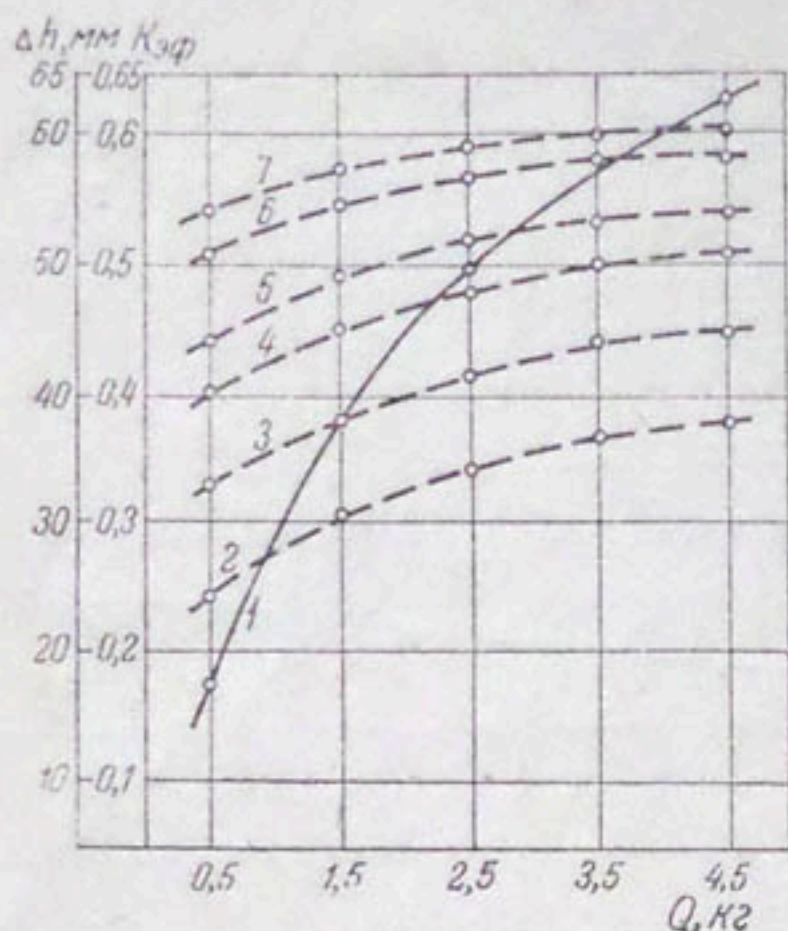


Рис. 2. Зависимость коэффициента эффективности удара $K_{\text{эф}}$ и деформации Δh от веса груза Q .

1 — изменение коэффициента $K_{\text{эф}}$; 2 — изменение Δh при $n=5$, 3 — при $n=10$, 4 — при $n=20$, 5 — при $n=30$, 6 — при $n=60$, 7 — при $n=80$.

К такому же выводу пришел И. М. Шейхет (лаборатория грунтоведения САНИИВПиГ), который проводил опыты на специальном приборе. Удары по грунту наносились через кольцо весом $0,3 \text{ кг}$, диапазон изменения H $0,125-1,98 \text{ м}$ и Q $2-7,8 \text{ кг}$, а работы удара $1-3,9 \text{ кгм}$. Потери кинетической энергии в массе кольца здесь значительно ниже — $4-13\%$.

Таким образом, на основе лабораторных опытов И. М. Шейхетом и нами, несмотря на сравнительно широкий диапазон изменения удельного импульса, сделан вывод противоположный результатам исследований А. А. Аكوпова и Л. Ф. Саруханяна.

Однако лабораторные опыты не могут вскрыть закономерностей трамбования грунтов. Причина этого — малые габариты уплотняемых образцов и влияние концентрации напряжений у дна и стенок стакана на распределение плотности в образце грунта.

При уплотнении грунтов в условиях полигона можно исключить влияние концентрации напряжений. Л. М. Бобылев [6] проводил испытания на насыпи высотой $1-1,2 \text{ м}$. Каждый из четырех опытов выполнял при постоянной работе одного удара $A = 2, 3, 4$ и $5 \text{ т} \cdot \text{м}$ и соответствующем изменении Q и H .

Н. П. Вошинин и Л. М. Бобылев [7] доказали, что в пределах изменения удельного импульса от 80 до $120 \frac{\text{г} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}$ и при постоянной величине работы плотность не изменяется при любом соотношении веса и высоты падения.

Рассмотренные исследования не устанавливают влияния Q и H на эффект уплотнения из-за узкого диапазона изменения удельного импульса (рис. 3).

Так, в первом опыте сравнивался эффект уплотнения трамбующими плитами, удельный импульс которых равен 64 и $90 \frac{\text{г} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}$ (разность

$26 \frac{\text{г} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}$). Из графика видно, что отклонение величин удельных импульсов можно было бы значительно увеличить. В других опытах это отклонение и того меньше: во втором $15 \frac{\text{г} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}$ (удельные импульсы 95 и $110 \frac{\text{г} \cdot \text{сек}}{\text{см}^2}$), в четвертом — 17.

Одни исследователи [7] утверждают, что при расширении диапазона удельного импульса плотность окажется в большей зависимости от параметров удара (по-видимому, имеется в виду изменение параметров Q и H). Другие, например И. М. Шейхет, напротив, считают, что импульс удара не характеризует эффективности уплотнения, так

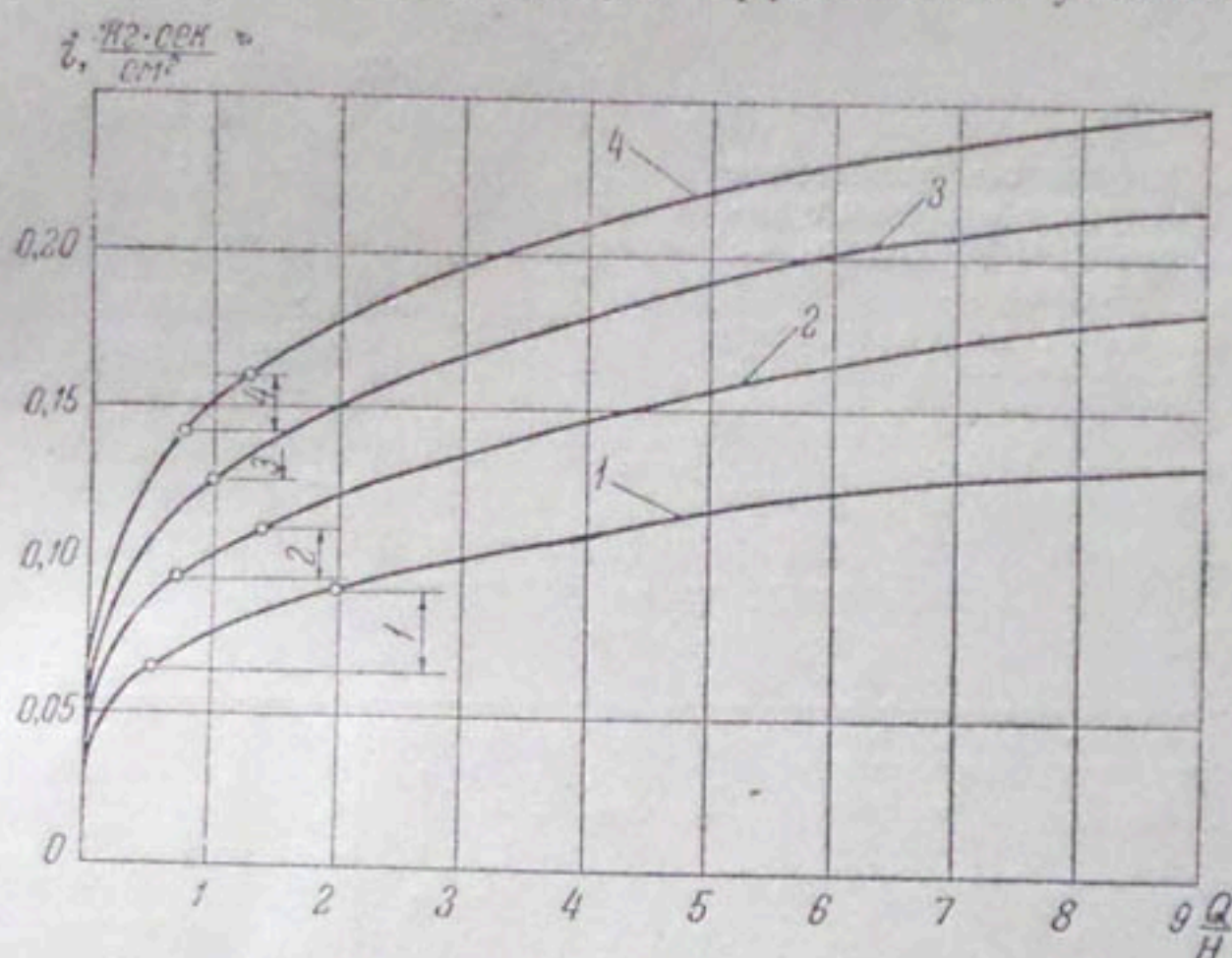


Рис. 3. Зависимость удельного импульса ударной нагрузки i от отношения $\frac{Q}{H}$ при постоянной работе одного удара $A = OH$.

1 — $A=2$ м, 2 — $A=3$, 3 — $A=4$, 4 — $A=5$ м.

как при различных сочетаниях Q и H и постоянном импульсе достигаются различные значения плотности. Разрешение этого вопроса может быть достигнуто постановкой экспериментальных исследований с расширением диапазона удельного импульса более чем в 3 раза.

Рассмотренные выше исследования проведены на грунтах нарушенной структуры. Ударное уплотнение грунтов природного залегания в строительстве применяется недавно. По литературным данным, удельное давление при уплотнении грунтов естественного сложения должно быть в 1,5 раза выше, чем при трамбовании насыпных [8].

Для определения эффекта уплотнения грунтов естественного сложения в Голодной степи проведены опыты с изменением веса и высоты падения трамбующей плиты при постоянной площади ее основания $1,25 \times 1,25$ м [9]. По одному и тому же месту наносили по три удара трамбовкой весом 3,2; 4,2 и 5,2 т с высоты 2, 3 и 4 м (рис. 4). Опыты показывают, что увеличение одного параметра при неизменном другом повышает плотность грунта. Однако в связи с тем, что в каждом из опытов использованы различные величины работы одного удара, эти

исследования не отвечают на вопрос, за счет чего более эффективно увеличивать кинетическую энергию удара трамбующего органа. Уплотняемость грунтов желательно увязывать не только с параметрами внешней нагрузки, но также с импульсом i и работой одного удара a . Результаты исследований представлены в табл. 1; значения влажности $W_{\text{ср}}$ и плотности уплотненных и неуплотненных грунтов $\gamma_{\text{ср}}$ осреднены в пределах верхнего слоя толщиной 1,2 м. Это обусловлено тем, что глубина активной зоны, в которой реализуется 80—90% накопленной деформации, согласно данным Н. Я. Хархута [4], равна:

$$h_0 = (1 - 1,2) B_{\text{мин}},$$

где $B_{\text{мин}}$ — минимальный поперечный размер трамбующей плиты в плане, равный 1,25 м.

По данным табл. 1 построили ряд графиков зависимости плотности уплотненного грунта $\gamma_{\text{ср}}$ и глубины уплотнения h от изменения удельного импульса i и удельной работы одного удара a . На рис. 5 представлен график зависимости $\gamma_{\text{ср}} = f(i)$ и $\gamma_{\text{ср}} = f(a)$. Нанесены также

Таблица 1

Параметры				Удельные параметры трамбования			Средняя влажность грунта в верхнем слое толщиной 1,2 м, $W_{\text{ср}}, \%$	Средний объемный вес скелета грунта в том же слое, $\gamma_{\text{ср}}, \text{г/см}^3$		Глубина уплотнения, $h, \text{м}$	
трамбующей плиты			режима уплотнения					до уплотнения	после уплотнения		
вес $Q, \text{т}$	площадь основания, $F, \text{м}^2$	минимальный поперечный размер, $B_{\text{мин}}, \text{м}$	высота падения, $H, \text{м}$	число ударов по одному месту, n	импульс $i, \text{кг·сек/см}^2$	работа $a, \text{кг·м/см}^2$					статистическое давление $q, \text{кг/см}^2$
5,2	1,56	1,25	2	3	0,212	0,67	0,333	20	1,46	1,66	1,35
5,2			3	3	0,260	1,00	0,333	19	1,50	1,67	1,45
5,2			4	3	0,300	1,33	0,333	15	1,48	1,73	1,70
4,2			3	3	0,210	0,81	0,270	16	1,49	1,64	1,40
4,2			4	3	0,242	1,07	0,270	15	1,50	1,61	1,40
3,2			3	3	0,160	0,61	0,205	13	1,49	1,58	1,20
5,2			5	3	0,335	1,67	0,333	17	1,41	1,62	—
5,2			4	4	0,300	1,33	0,333	18	1,41	1,63	—
5,2			3	6	0,260	1,00	0,333	21	1,41	1,62	—
5,2			3	9	0,260	1,00	0,333	17	1,41	1,69	—

экспериментальные точки, по которым построены указанные зависимости. Изменение плотности $\gamma_{\text{ср}}$ в зависимости от величин i и a характеризуется двумя параллельными прямолинейными зависимостями. При увеличении удельного импульса i и удельной работы одного удара a повышается плотность грунта. Однако по разбросу экспериментальных

точек нельзя определить, какой из комплексных параметров более точно оценивает закономерность увеличения плотности уплотненного грунта.

Если построить аналогичные графики изменения плотности $\gamma_{\text{ср}}$ в верхних слоях 0—0,5; 0—1,0; 0—1,5 м, то получим серию параллельных прямых с одинаковым углом наклона к оси абсцисс, т. е. вне связи с глубиной уплотнения h характер зависимостей $\gamma_{\text{ср}} = f(i)$ и $\gamma_{\text{ср}} = f(a)$ не изменяется, более того, зависимости $h = f(i)$ и $h = f(a)$ должны быть аналогичными. Увеличение импульса i , как и работы a , повышает глубину уплотнения (рис. 6). По нашему мнению, графики (рис. 5 и 6) позволяют определить эффект уплотнения грунта при различных удельных параметрах трамбования.

В Голодной степи широко применяется выштамповка котлованов под сооружениями. В отличие от поверхностного уплотнения тяжелой трамбовкой, где наиболее важна глубина уплотнения, при выштамповке основное значение придается глубине котлована, которая зависит от параметров трамбующей плиты Q и F и режима уплотнения N и n .

В наших опытах при выштамповке использована трамбующая плита ($0,7 \times 1,5$ м) весом 4,7 т; высота сбрасывания 1,7—4,5 м. В результате под подошвой котлована получено уплотненное ядро эллиптической формы. Вдоль большой оси котлована зона распространения уплотнения примерно в 2, а вдоль малой — в 2,8 раза превышает соответствующий размер трамбующей плиты [10].

Процесс выштамповки одиночных котлованов состоит в следующем. После первых 2—3 ударов деформация локализуется в верхней высокопористой толще грунта. Соответствующая ударам осадка грунта пропорциональна степени уплотнения. Вначале уплотнение распространяется в глубь толщи, а с определенного момента — в стороны от следа трамбующей плиты. Объясняется это тем, что на некоторой глубине от поверхности расположены более плотные слои, и поэтому уплотнение стремится локализоваться в толще грунта с минимальными плотностями.

Из графика (рис. 7), построенного на основе табл. 1 и 2, видно,

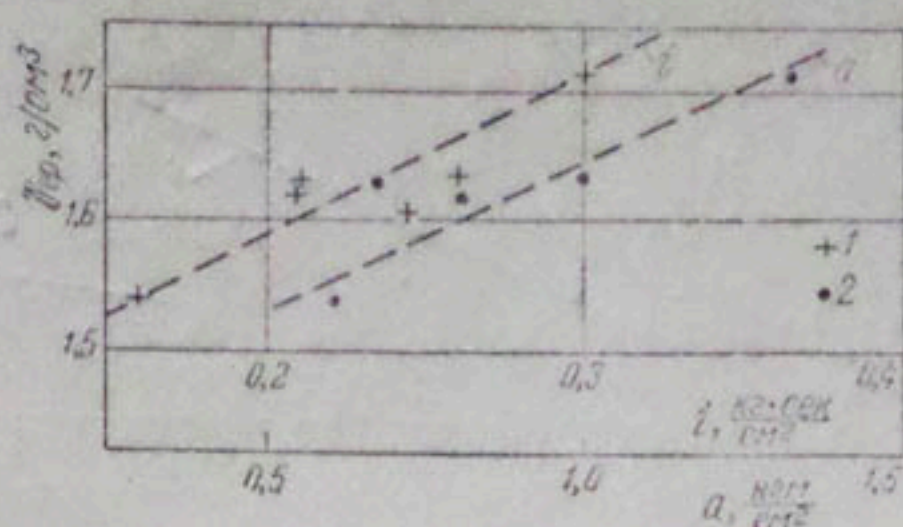


Рис. 5. Зависимость средней плотности уплотненного грунта в верхнем слое (толщина 1—1,5 м) от удельного импульса i и удельной работы одного удара a : $B = 1,25$ м, $F = 1,56$ м², $n = 3$, $w = 13-20\%$.

1 — экспериментальная точка $\gamma_{\text{ср}} = f(i)$;
2 — то же, $\gamma_{\text{ср}} = f(a)$.

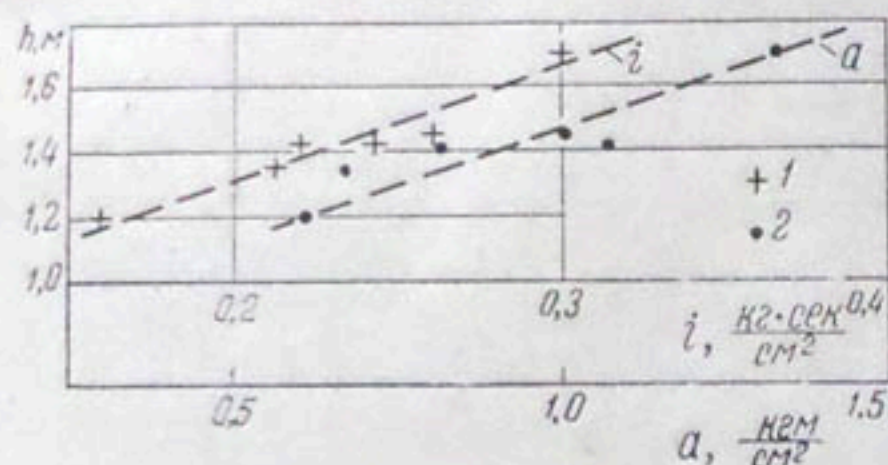


Рис. 6. Зависимость глубины уплотнения h от удельного импульса i и удельной работы одного удара a (размеры B , F , n и W и условные обозначения те же, что и на рис. 5).

что повышение удельного импульса дает прирост плотности грунта $\gamma_{\text{ср}}$. Однако интенсивность прироста, характеризующаяся углом наклона прямых 1, 2 и 3 к оси абсцисс, различна.

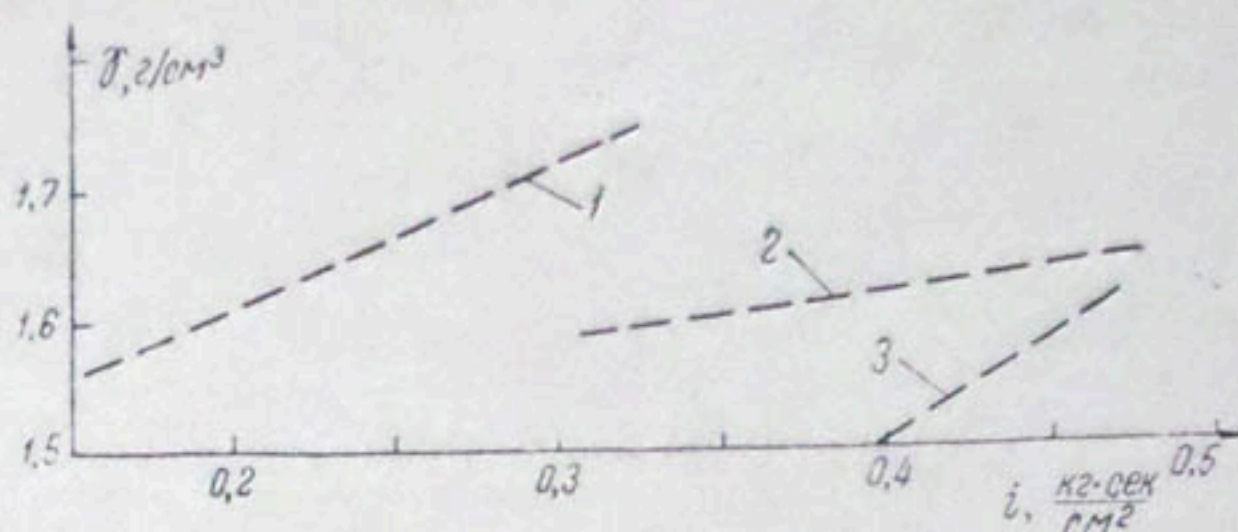


Рис. 7. Сравнительный график зависимости средней плотности грунта в верхнем уплотненном слое толщиной 1—1,2 м от удельного импульса одного удара i .

1— $B=1,25$ м, $F=1,56$ м², $n=3$, $W=13-20\%$; 2— $B=0,7$ м, $F=1,05$ м², $n=6$, $W=11-13\%$; 3— $B=0,7$ м, $F=1,05$ м², $n=3$, $W=13-16\%$.

Так, несмотря на высокий удельный импульс при выштамповке одиночных котлованов (прямые 2 и 3), достигнуты более низкие плотности грунта при одновременном значительном уширении зоны распро-

Таблица 2

Параметры				$i, \text{кг} \cdot \text{сек} / \text{см}^2$	$\gamma_{\text{ср}}, \text{г} / \text{см}^3$	
трамбующей плиты			$H, \text{м}$		до выштамповки котлована	после выштамповки котлована
$Q, \text{т}$	$F, \text{м}^2$	$B_{\text{min}}, \text{м}$				
4,7	1,05	0,7	4	0,402	1,33	1,54
			5	0,451	1,35	1,58
			2,5	0,319	1,35	1,59
			5	0,451	1,35	1,63

странения уплотнения. На интенсивность прироста плотности влияет и влажность грунта, что видно из сравнения прямых 2 и 3: прямая 2 получена при уплотнении грунтов с влажностью $W_{\text{ср}} = 11-13\%$; а 3— $W_{\text{ср}} = 13-16\%$.

Результаты экспериментов дают возможность утверждать, что эффект уплотнения можно определить по удельным параметрам трамбования — импульсу и работе одного удара. Поэтому для различных трамбующих органов и грунтовых условий целесообразно получить экспериментальные графики, аналогичные рис. 5, 6 и 7.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хархута Н. Я. Машины для уплотнения грунта, М., Машгиз, 1953.
2. Хархута Н. Я. Работа Ленфилиала СоюзДОРНИИ по исследованию процессов, связанных с воздействием на грунты кратковременных нагрузок, В сб. «Материалы к научно-технической конференции по динамическим воздействиям на грунты и одежды автомобильных дорог», Л., Изд-во литературы по строительству, 1964.

3. Хархута Н. Я., Васильев Ю. М. Устойчивость и уплотнение грунтов дорожных насыпей, М., Автотрансиздат, 1964.
 4. Троицкая М. Н. Пособие к лабораторным работам по механике грунтов, Изд-во МГУ, 1961.
 5. Акопов А. А., Саруханян Л. Ф. Шагьющая трамбовочная машина, В сб. „Способы борьбы с потерями воды на фильтрацию“, М., Сельхозгиз, 1956.
 6. Бобылев Л. М. Распределение напряжений, деформаций и плотности в грунте при уплотнении насыпей трамбующими машинами, „Освоение, фундаменты и механика грунтов“, 1963, № 6.
 7. Вошинин Н. П., Бобылев Л. М. Экспериментальные исследования процесса уплотнения грунта в земляном полотне при трамбовании, В сб. „Материалы к научно-технической конференции по динамическим воздействиям на грунты и одежды автомобильных дорог“, Л., Изд-во литературы по строительству, 1964.
 8. Хархута Н. Я., Васильев Ю. М., Иевлев В. М. Влияние физико-механических свойств грунтов естественных оснований на их устойчивость и уплотнение, В сб. „Материалы IV Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению грунтов“, Тбилиси, 1964.
 9. Пулатов У. Ю., Пак С. Д., Островский Э. М. Опытно-производственные работы по ударному уплотнению на канале М-2, В сб. „Материалы по производительным силам Узбекистана“, вып. 15, Изд-во АН УзССР, 1960.
 10. Пулатов У. Ю., Пузырев Ю. В., Иванов С. А., Абрарходжаев А. Строительство лотковых оросительных каналов в Голодной степи, „Сельское хозяйство Узбекистана“, 1961, № 6.
-

Р. В. ТИМИРОВА

ВЛИЯНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ВОДОЗАБОРА НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ПОПЕРЕЧНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ПОТОКА

На изгибе русла к основному продольному движению жидкости добавляется поперечное циркуляционное, вызываемое кривизной участка. В результате получается сложное винтообразное движение, которое носит название поперечной циркуляции потока. Использование русловой поперечной циркуляции потока легло в основу компоновки ферганской схемы водозабора.

Исследованиями в натурных и лабораторных условиях установлено, что благодаря поперечной циркуляции потока, создаваемой криволинейным подводящим руслом, поверхностные осветленные струи поступают в отвод, расположенный на вогнутом берегу, а донные, насыщенные наносами, — в сбросное отверстие. С увеличением коэффициента водозабора (при прочих равных условиях) интенсивность поперечной циркуляции снижается, т. е. наступает момент, когда русловая поперечная циркуляция не обеспечивает поступления донных наносов в сбросное отверстие, и они откладываются у порога, а затем начинают поступать в отвод. Следовательно, в районе вододелительной части создаются скорости, которые не могут обеспечить транспортирования наносов в нижний бьеф.

Как известно, основным параметром поперечной циркуляции потока на изгибе является скорость циркуляционного движения, вернее ее продольная и поперечная составляющие; последняя обеспечивает отвлечение донной частицы жидкости от вогнутого берега. Для изучения влияния коэффициента водозабора φ на интенсивность поперечной циркуляции потока, т. е. изменение продольной и поперечной составляющих скорости при различных φ , мы использовали модельную установку головного водозабора гидроузла на р. Балдыбрек (рис. 1), выполненную в масштабе 1:25. Русло было выложено из галечниково-песчаной смеси ($d_{\text{макс}}=2,5$ мм, $d_{\text{ср}}=5,78$ мм). Уклон русла $I=0,019$. Расход на модель подавался постоянным — 3,84 л/сек.

Максимальный транспортируемый диаметр наносов равен 12,0 мм, средний — 3,81 мм. Насыщение потока наносами $p=0,584$ г/л, параметр кинетичности — 0,70. Процент водозабора изменялся от 0 до 100 (0, 50, 70, 80, 100). Поступление наносов в отвод наблюдалось при $\varphi=0,85$.

В районе вододелительной части сооружения, в начале, посередине и в конце наносотбойной стенки, посередине порога водоприемника и фронту сбросного отверстия были разбиты створы, которые располагались параллельно фронту сбросного отверстия.

На всех створах через каждые 5 см были разбиты вертикали; скорости на них замерялись в 5 точках трубкой Пито.

В результате обработки и анализа данных исследований найдены приближенные зависимости, посредством которых можно определить

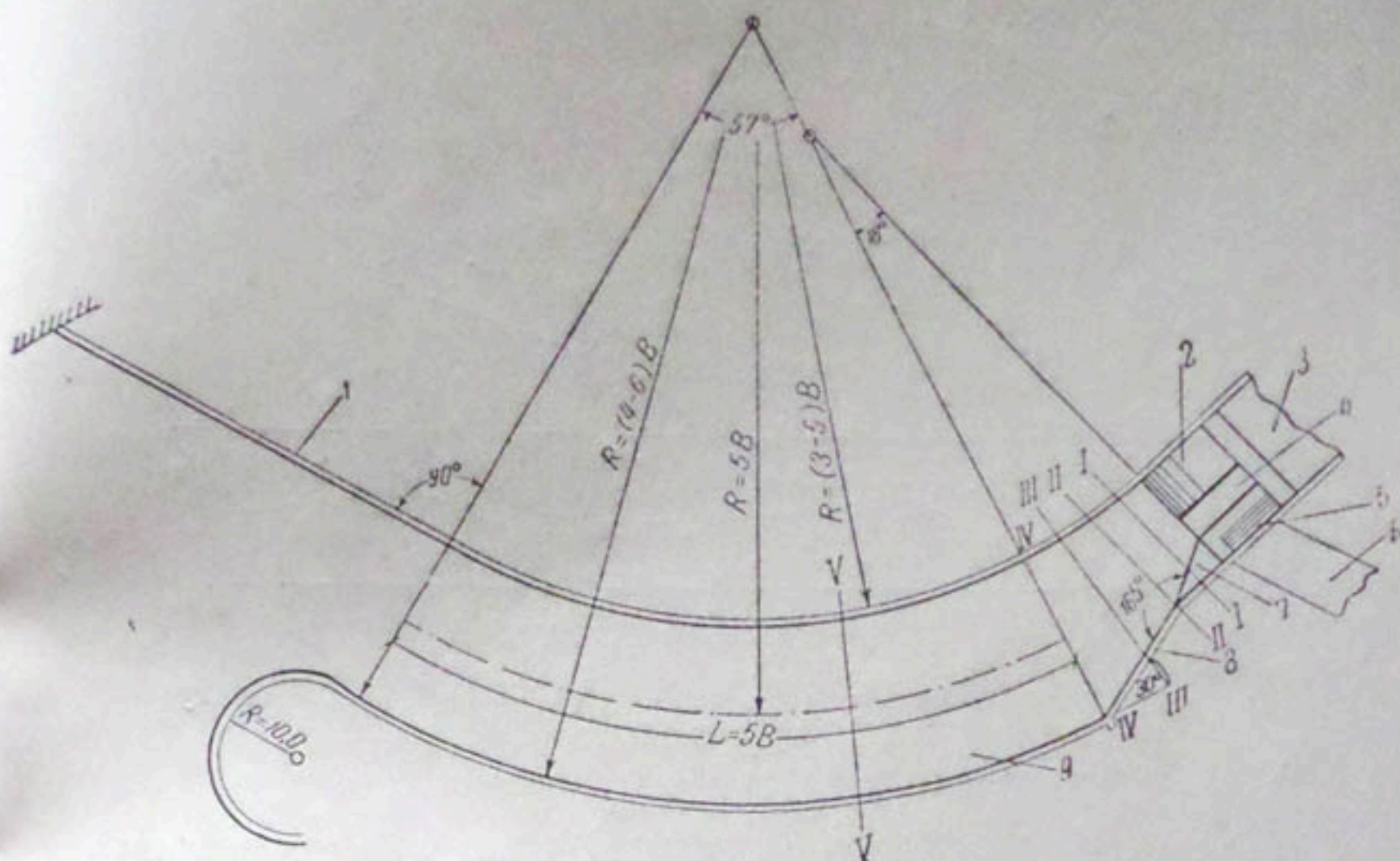


Рис. 1. Схема модельной установки гидроузла на р. Балдыбрек.

1 — левая струенаправляющая дамба; 2 — автоматический водослив; 3 — отводящее русло; 4 — сбросное отверстие; 5 — решетчатая часть; 6 — магистральный канал; 7 — порог водоприемника; 8 — наносоотбойная стенка; 9 — подводящее криволинейное русло.

коэффициент безнаносного водозабора для совмещенной схемы ферганского типа водозабора с донной решеткой.

На рис. 2 отражено изменение поверхностных скоростей потока в зависимости от коэффициента водозабора, которые могут быть определены по эмпирической зависимости

$$V_{\text{пов}} = 22 \frac{Qb\sqrt{bk}}{B^3 \sqrt{B}} \text{ м/сек}, \quad (1)$$

где Q — расход реки, $\text{м}^3/\text{сек}$;

B — ширина по зеркалу воды, м ;

b — расстояние от уреза воды (с левого берега) до рассматриваемой вертикали, м ;

k — величина, зависящая от коэффициента водозабора.

Для компоновки типа гидроузла на р. Балдыбрек k можно определить из графика, представленного на рис. 2.

Изменение продольной скорости траектории движения частицы жидкости в любой точке вертикали в зависимости от коэффициента водозабора φ определяется по эмпирической формуле

$$V_s = 1,43 (N - Ak_1 + 0,7 v_n). \quad (2)$$

(H — глубина потока на рассматриваемой вертикали, m ;
 h — глубина, на которой определяется продольная скорость).
 При наличии водозаборного отверстия на криволинейном участке
 поток претерпевает как бы двойной изгиб. Но поскольку двойной

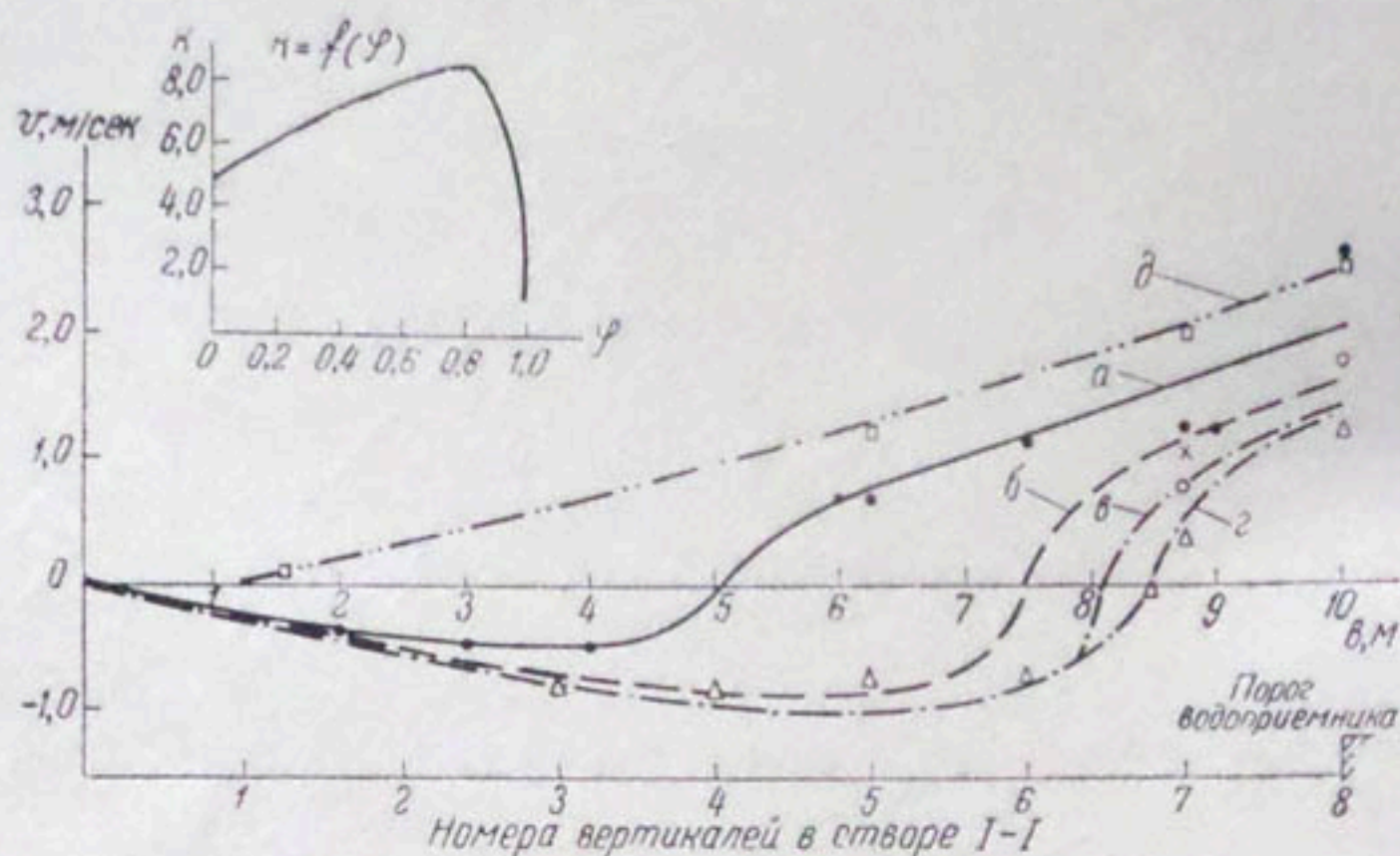


Рис. 2. Влияние коэффициента водозабора на распределение поверхностных скоростей потока в створе I—I:

$a - \varphi = 0$; $б - \varphi = 0,5$; $в - \varphi = 0,7$; $г - \varphi = 0,8$; $д - \varphi = 1,0$.

Здесь V_n — поверхностная скорость потока на рассматриваемой вертикали, m/sec ;

k_1 — опытный коэффициент, значение которого определяется по формулам:

для

$$\varphi = 0 \quad k_1 = \sqrt{\frac{H}{h}} \cdot \frac{b}{B};$$

$$\varphi = 0,5 \quad k_1 = 0,4 \sqrt{\frac{H}{h}} \cdot \frac{b}{B};$$

$$\varphi = 0,7 \quad k_1 = 0,26 \frac{H}{h} \cdot \frac{b}{B};$$

$$\varphi = 0,8 \quad k_1 = 0,26 \frac{H}{h} \cdot \frac{b}{B};$$

$$\varphi = 1,0 \quad k_1 = 1,65 \sqrt{\frac{h}{H}} \cdot \frac{b}{B}$$

изгиб — явление сложное и еще мало изучено, формулы для определения k_1 носят приближенный характер и подлежат уточнению.

Эпюры распределения скоростей по глубине потока на криволинейном участке, представленные на рис. 3, имеют различную и сложную форму.

Поверхностные скорости могут быть положительными, отрицательными и равными нулю.

Зависимость (2) подобрана так, что охватывает все формы эпюр, представленных на рис. 3.

С возрастанием коэффициента водозабора донные скорости увеличиваются, траектория движения донной частицы уплаживается и по-

доса движения донных наносов начинает приближаться к порогу водоприемника. При этом значение продольной составляющей донной скорости потока v_s увеличивается, а поперечной v_r — уменьшается и, когда v_r приближается к нулю, наносы начинают поступать в отвод. Далее v_r приобретает отрицательное значение, и поступление наносов в отвод принимает массовый характер (рис. 4).

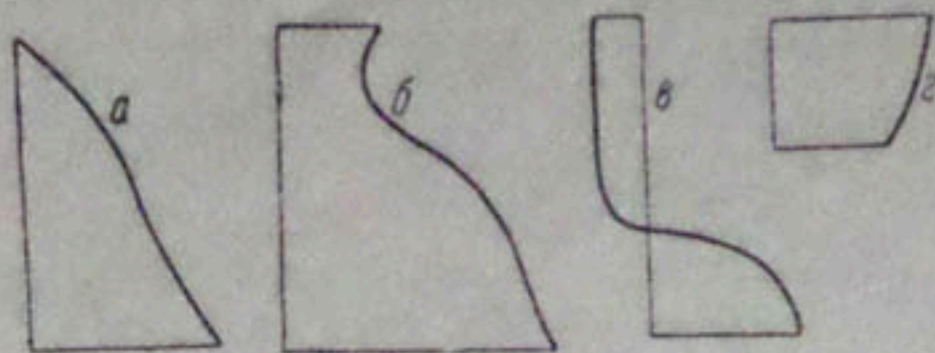


Рис. 3. Формы эпюр, полученные при замерах скоростей потока для различных φ у порога водоприемника.

Для определения v_r мы предлагаем эмпирическую зависимость

$$v_r = v_s \cdot k_2.$$

Здесь v_r и v_s соответственно поперечная и продольная скорости потока, м/сек,

k_2 — коэффициент, значение которого определяется по зависимости

$$k_2 = C - (1 - \varphi \sqrt{\varphi}) \varphi^0,$$

где φ — коэффициент водозабора,

C — опытный коэффициент, зависящий от компоновки гидроузла, радиуса кривизны русла, средней скорости и потока коэффициента шероховатости.

Для данной схемы водозабора $C = 0,86$ и v_r достигает нулевого значения при $\varphi = 0,85$.

Мы сделали попытку определить изменение продольных и поперечных составляющих скоростей поперечной циркуляции потока при

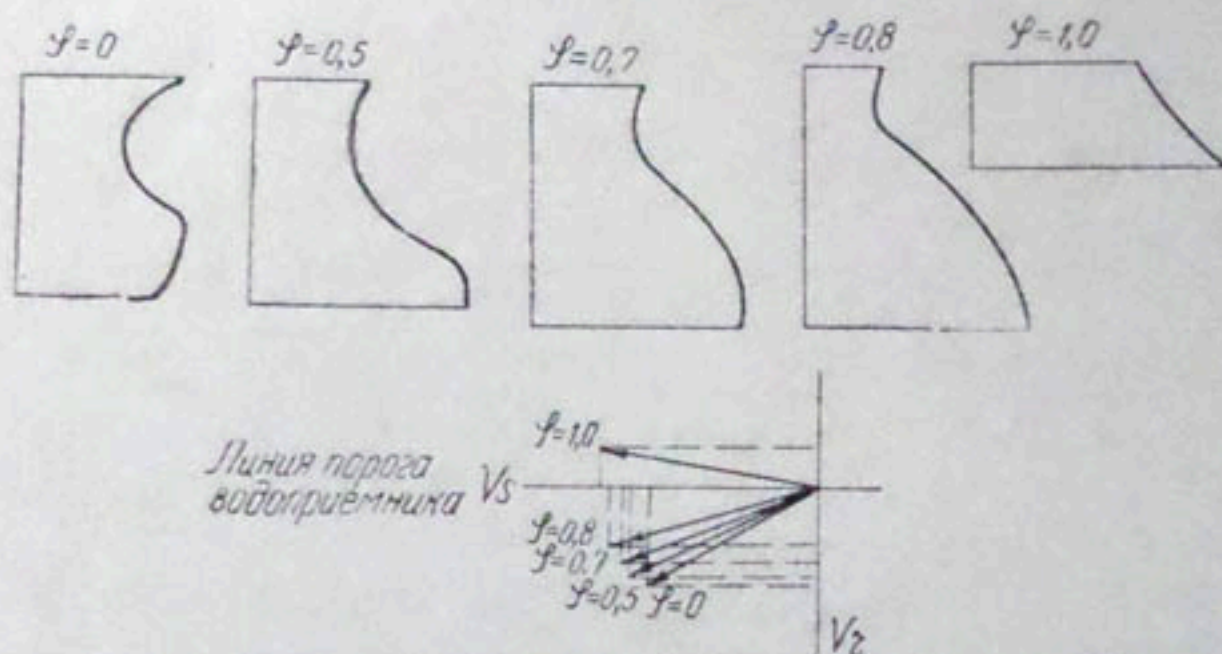


Рис. 4. Изменение продольной и поперечной составляющих донной скорости в зависимости от φ у порога водоприемника.

различных коэффициентах водозабора в ферганской схеме компоновки гидроузла с тем, чтобы установить предельное значение коэффициента безнаносного водозабора в соответствии с величиной поперечной скорости потока.

Полученные результаты требуют еще уточнения и расширения диапазона их применения для различных схем ферганского типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анимян А. К. Движение жидкости на повороте водовода, Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1957.
 2. Розовский И. Л. Движение воды на повороте открытого русла, Киев, Изд-во АН УССР, 1957.
 3. Замбахидзе Г. Н. О движении реальной (вязкой) жидкости и погруженного в нее твердого тела на изгибе, Труды Всесоюзного научно-технического совещания по водозаборным сооружениям и русловым процессам, т. I, Тбилиси, 1961.
 4. Вызго М. С. Исследования Сарыкурганского гидроузла на р. Сох. Доклады выездной научной сессии АН УзССР в Фергане в 1949 г., АН УзССР, 1950.
 5. Вызго М. С., Якштас И. А. „Гидротехническое строительство“, М., 1948, № 2.
 6. Ушаков А. П., Шолохов В. Н., Якштас И. А. Низконапорные водозаборные гидроузлы ферганского типа, Изд-во АН УзССР, Ташкент, 1962.
 7. Тимирова Р. В. Некоторые результаты натурных исследований Сарыкурганского гидроузла на р. Сох за 1961 г., Вопросы гидротехники, вып. 11, 1963.
 8. Тимирова Р. В. Результаты лабораторных исследований гидроузла на р. Балдыбек, Вопросы гидротехники, вып. 26, 1965.
-

ШАРЛЬ ШУКРИ САКЛА

К РАСЧЕТУ ОБЩЕГО РАЗМЫВА РУСЛА ЗА ТУЯМУЮНСКИМ ГИДРОУЗЛОМ

По заданию Куйбышевского филиала института „Гидропроект“ им. С. Я. Жука в отделе русел рек САНИИВПиГ проведен расчет по прогнозу общего размыва за Туямуюнским гидроузлом на реке Амударье по методам С. Т. Алтунина-Бузунова и В. С. Лапшенкова.

Мы предлагаем свой, более упрощенный метод расчета, который является развитием теории И. И. Леви и имеет большие возможности в применении на практике.

В теоретическом выводе формулы расчета общего размыва (1,2) мы имеем дело с пятью уравнениями:

- 1) уравнение неравномерного, плавно изменяющегося движения

$$\frac{\partial y}{\partial S} = -\frac{u}{g} \cdot \frac{\partial u}{\partial S} - \frac{u^2}{C^2 h};$$

- 2) уравнение постоянства расхода воды

$$Q = u \cdot h \cdot B = \text{const},$$

где Q — расход воды,

u — средняя скорость течения,

S — длина рассматриваемого участка,

C — коэффициент Шези,

g — ускорение силы тяжести,

h — средняя глубина потока,

B — ширина русла по урезу воды,

t — время,

y, Z — последовательные координаты свободной поверхности и дна, отсчитываемые от плоскости сравнения, расположенной ниже поверхности дна;

- 3) уравнение С. Т. Алтунина, отражающее морфометрическую характеристику русла в виде $B = k \cdot h^x$;

- 4) уравнение деформации русла

$$\gamma' B \frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial P}{\partial S} = 0;$$

- 5) уравнение И. И. Леви для расхода донных наносов

$$P = A u^3 (u - u_0) \cdot Q$$

где P — весовой расход наносов,
 γ' — объемный вес наносов в воде,
 α — переменный показатель степени для руслообразующего расхода,
 k — переменная величина для различных участков рек,
 A — коэффициент, определяемый условиями транспортирования наносов,
 u_0 — неразмывающая скорость потока.

Решив вышеуказанные уравнения, получим следующую зависимость для расчета общего размыва:

$$t \left[1 + \frac{D_1}{F_1} \right] = \Phi + D_1 S - D_2.$$

Здесь $D_1 D_2$ — постоянные на определенном участке кривой спада, определяемые из зависимости $C_2^0 = D_2 - C_1^0 D_1$;

C_1^0, C_2^0 — независимые переменные, учитывающие начальные условия. При $t = 0$ имеем

$$C_1^0 = S \text{ и } C_2^0 = \Phi;$$

Φ — величина вычисленного интеграла $\frac{F_1}{F_2}$, являющаяся функцией от глубины h ;

F_1, F_2 — величины, вычисленные из следующих выражений:

$$F_1 = \frac{\gamma' k h^2 \left(1 - \frac{x^2}{g h^{3+2\alpha}} \right)}{\frac{(2+3\alpha) A U_0 x^3}{h^{3+3\alpha}} - \frac{(3+4\alpha) A x^4}{h^{4+4\alpha}}},$$

$$F_2 = \frac{x^2 n^2}{h^{3+2\alpha+2m}},$$

где $x = \frac{Q}{k}$,

n — коэффициент Манинга,

m — гидравлический показатель русла;

Величину $(D_1 S - D_2)$ выводим из графических построений, а $\left(1 + \frac{D_1}{F_1} \right)$ — из расчета.

При завершении расчета задается h для определенного створа; из вспомогательной кривой связи $\Phi = f(h)$ вычисляем Φ . Далее, зная связь между функциями C_1 и C_2 , найдем t . При равномерном режиме потока связь между C_1^0 и C_2^0 представляет горизонтальную линию: при общем размыве поток протекает неравномерно, и это отражается на связи между функциями C_1^0 и C_2^0 . Такая связь в начале имеет вид наклонной линии, т. е. $C_2^0 = D_2 - C_1^0 D_1$. Со временем эта линия становится более пологой, и к концу процесса, после установления равномерного режима, она опять приближается к горизонтальной.

Из графика $C_2 = f(C_1)$ определяем длину общего размыва S по времени. Когда прямая $C_2 = D_2 - C_1 D_1$ пересекается с горизонтальной линией $C_2 = \Phi = \text{const}$, за прочным створом, то последний влияет на замедление процесса общего размыва. В этом случае мы считаем, что непосредственно выше прочного створа не происходит никаких изменений в отметках дна русла и уровня воды, т. е. линия связи

$C_2 = D_2 - C_1 D_1$ повернется и пересечется с точкой, где $\Phi = \text{const}$; кроме того, по нашему мнению, прочный порог не играет существенной роли в замедлении процесса общего размыва на начальном створе. Для исправления значений глубин потока, полученных без учета влияния прочного створа, соединяем максимальные значения связи $C_2 = D_2 - C_1 D_1$ с точкой, где Φ — величина, постоянная во времени. Тогда с помощью связи $h = f(\Phi)$ получим значения глубин потока с учетом влияния прочного створа на замедление процесса размыва.

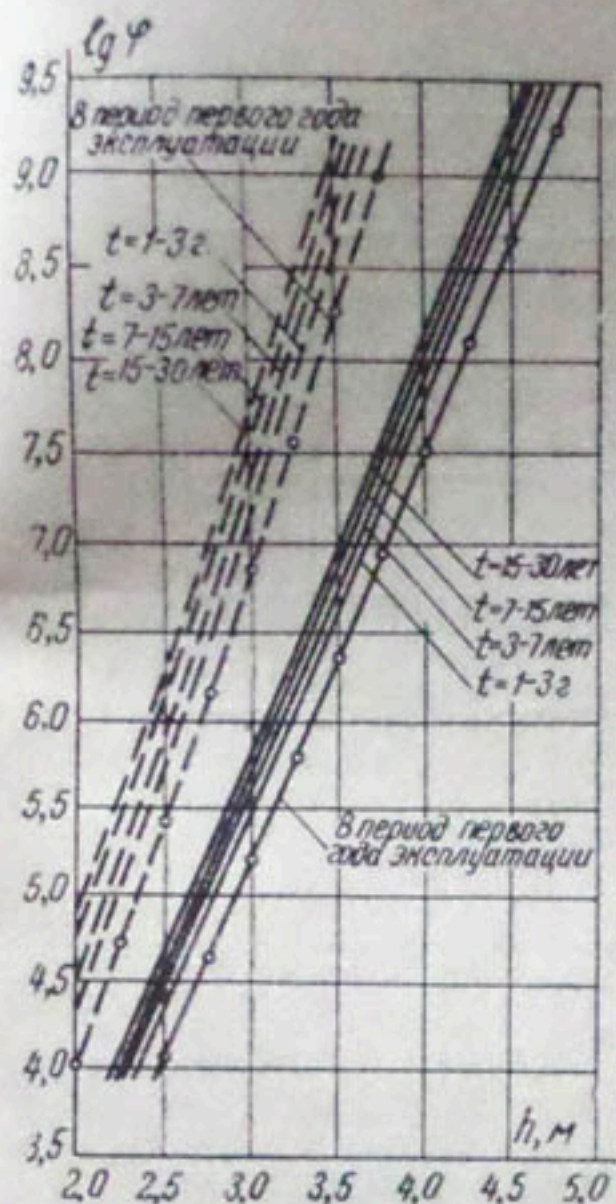


Рис. 1. Вспомогательные графики $h = f(\Phi)$, пунктир. — межень, сплошная линия — паводок.

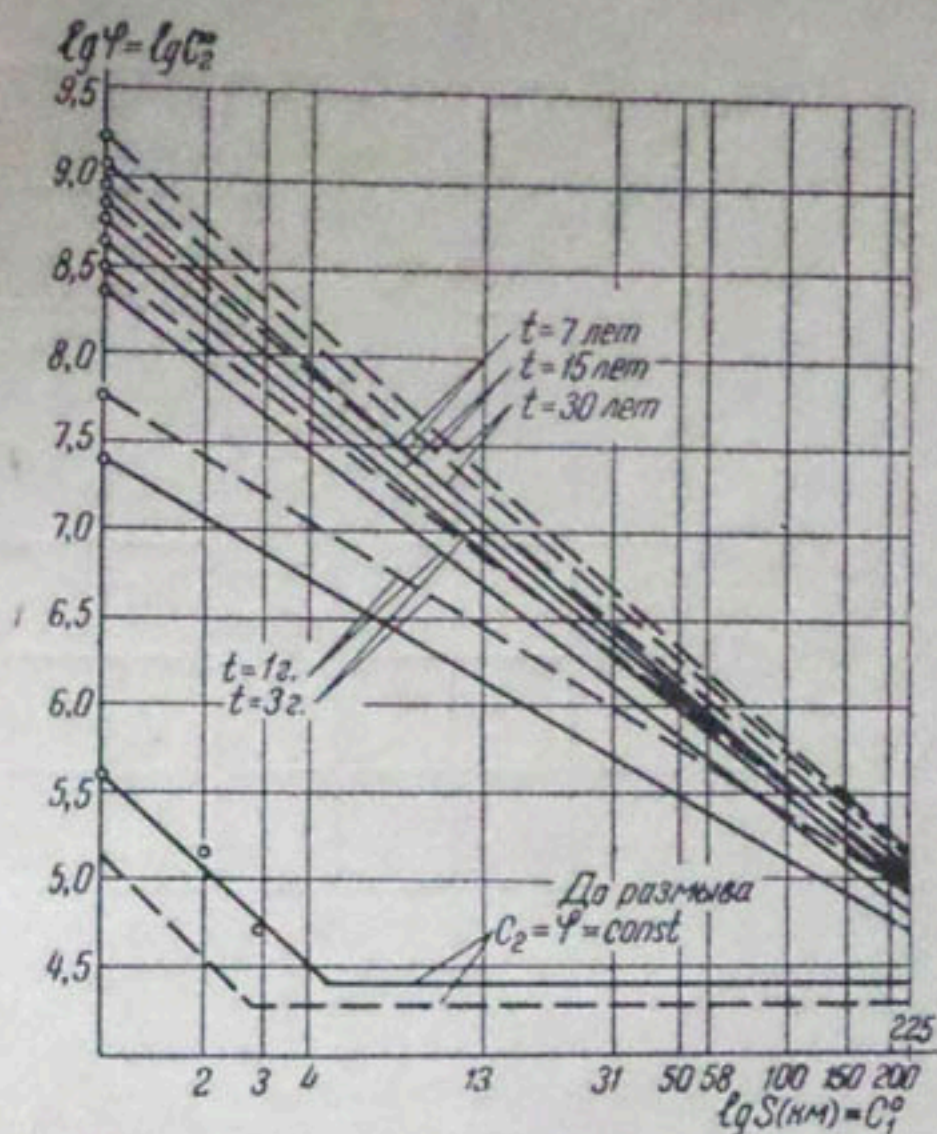


Рис. 2. Изменение функциональной зависимости между C_1 и C_2 по времени. Условные обозначения те же, что и на рис. 1.

В расчете общего размыва за Туямуюнским гидроузлом мы учитывали следующие условия:

а) берега русла Амударьи сложены из легкоразмывающихся грунтов и свободно подвергаются деформациям. Значения F_1 и F_2 вычисляли с учетом морфометрической связи;

б) по данным прогноза заиления верхнего бьефа, составленного Отделом русел рек САНИИВПиГ и проектного института, с первого года эксплуатации гидроузла благодаря малому объему водохранилища ожидается поступление в нижний бьеф не осветленной воды, а мутной. Коэффициент A (в формуле И. И. Леви для расхода наносов) уменьшался по времени в зависимости от мутности воды, поступающей в нижний бьеф.¹

В связи с этим связь $\Phi = f(h)$ изменяется по времени эксплуатации (рис. 1);

¹ В расчете методом В. С. Лапшенкова учитывается поступление из верхнего бьефа части наносов в нижний бьеф, а по методу С. Т. Алтунина-Бузунова это в учет не входит.

в) Тахиаташский гидроузел, расположенный ниже по течению на расстоянии ≈ 250 км, будет построен раньше, чем Туямуюнский, и он будет иметь определенное влияние на замедление общего размыва¹. В этом случае конец кривой подпора Тахиаташского гидроузла представляет прочный створ, где не происходит никаких изменений в отметках дна русла и уровня воды, т. е. Φ считается постоянным по времени (рис. 2).

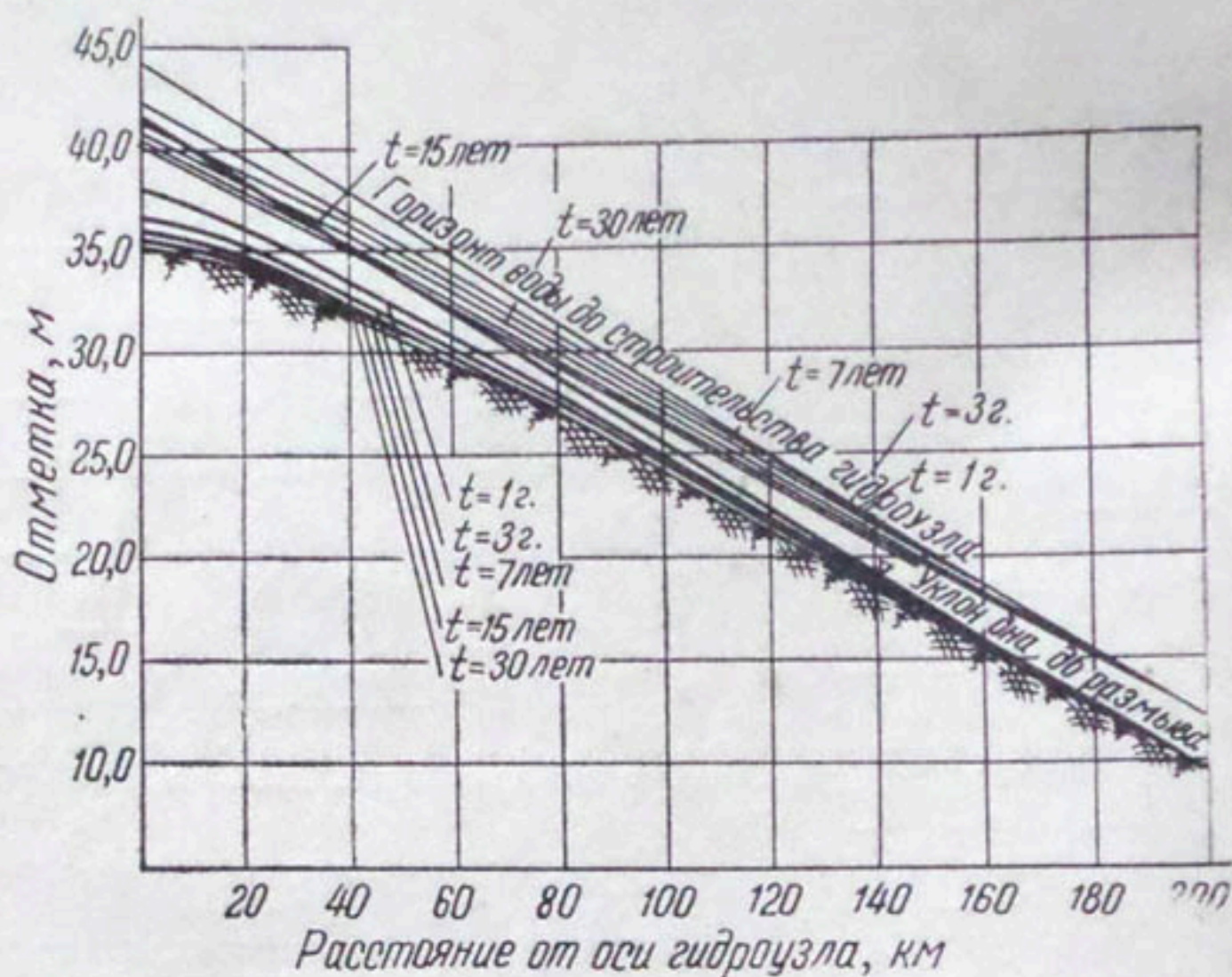


Рис. 3. Продольные профили дна русла и горизонтов воды при общем размыве по времени (начальная глубина $h = 2,65$ м; $Q = 2740$ м³/сек).

Время, годы	По Алтунину—Бузунову		По Лапшенкову		По предлагаемому методу	
	ΔY	ΔZ	ΔY	ΔZ	ΔY	ΔZ
1	1,10	2,30	0,65	4,35	2,00	3,70
3	2,40	4,10	2,25	3,95	3,00	4,86
7	4,05	5,70	3,42	3,80	3,60	5,86
15	6,30	7,95	2,25	2,35	3,85	6,15
30	9,30	11,00	1,00	1,10	4,05	6,50

Согласно измененному ступенчатому гидрографу с постоянным расходом расчет общего размыва за Туямуюнским гидроузлом проводился в два этапа: первый — период паводка, продолжительностью 1/3 года; второй — период межени. Поскольку этот период составляет 2/3 года, мы им не пренебрегали, как при расчете другими методами. Кроме того, в межени поток сужается, что приводит к значительной

¹ При расчете общего размыва другими методами влияние наличия Тахиаташского гидроузла не учитывается.

размывающей скорости и возможному размыву русла в глубину (в виде узкой полосы). Во время паводка русло выравнивается по ширине — сглаживаются ранее обнаженные, в виде террас, берега. На рис. 3 показаны предполагаемые продольные профили дна русла и горизонтов воды при общем размыве по времени.

Сравнение результатов различных методов показывает, что величина общего понижения дна русла ΔZ и горизонта воды ΔH (в метрах) по предлагаемому методу асимптотически приближается к постоянной, а по методу Лапшенкова через определенный период времени наблюдается повышение дна и уровня воды. По предлагаемому нами методу эти явления наступают гораздо позднее, чем по Лапшенкову.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шарль Шукри Сакла. Лабораторные исследования и упрощенный метод расчета общего размыва русла ниже плотины, Известия АН УзССР, серия техническая, 1964, № 2.
2. Шарль Шукри Сакла. Упрощенный метод расчета общего размыва с учетом ширины русла и некоторых особенностей, ДАН УзССР, 1964, № 5.

СОДЕРЖАНИЕ

Ю. И. Селиверстов. Полив хлопчатника по удлиненным бороздам в условиях Голодной степи	5
Х. А. Кадыров. Перспективы применения вертикального дренажа в Бухарском оазисе	8
З. П. Пушкарева. Характеристика глубинного засоления почво-грунтов Голодной степи	11
Г. А. Халметов. Баланс поверхностных вод в новой зоне орошения Голодной степи	16
Н. А. Пересыпкин. Некоторые результаты по орошению хлопчатника способом дождевания.	18
Г. А. Ахмедов, С. К. Каримов, М. С. Саатов, А. К. Ходжаев. Некоторые результаты изучения испарения и транспирации хлопкового поля, орошаемого дождеванием и бороздковым поливом	24
Э. Д. Чолпанкулов. Изучение испарения с поверхности Туябугузского водохранилища	33
О. С. Дермоян. О самоочищении водотоков Салар, Джун и Каракульдук .	38
Э. В. Шарер. О водоснабжении старой зоны орошения Голодной степи подземными водами	40
К. С. Ходжаев. Одномерный гидравлический поток грунтовых вод с учетом испарения	43
М. П. Мухтаров. Применение коммутаторов при измерениях пульсаций механических параметров турбулентных потоков	49
В. Я. Кирюхин. Строение намытого лессового грунта и его влияние на некоторые физико-технические свойства	52
К. Талабаев. Уменьшение водопроницаемости лессовых грунтов	57
И. Усманов. Новые материалы для изготовления труб закрытого горизонтального дренажа	63
А. Я. Сайганов. Методика и аппаратура для статических испытаний тонкостенных труб под действием грунта	66
В. А. Маркин. Автоматизация учета воды на Большом Гиссарском канале .	70
С. М. Горюнов. К фильтрационному расчету водовыпусков из водохранилищ или каналов	74
Э. М. Островский. О выборе параметров ударной нагрузки при трамбовании грунтов	80
Р. В. Тимирова. Влияние коэффициента водозабора на интенсивность поперечной циркуляции потока	88
Шарль Шукри Сакла. К расчету общего размыва русла за Туямуюнским гидроузлом	93

Коллектив

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ ВЫП. 25

Редактор *Д. Володина*
Технический редактор *Т. Дарионова*
Корректор *А. Арзуманова*

Р 01591. Сдано в набор 26/X-1965 г. Подписано к печати 21/III 1966 г. Формат 70×108₁₆—3,12 бум. л.
Печ. л. 8,56. Уч. изд. л. 7,4. Изд. № 1214. Тираж 650. Цена 59 к.

Типография Объединенного издательства ЦК КП Узбекистана. Заказ № 5098. Ташкент 1966 г.

ГОТОВЯТСЯ К ВЫХОДУ В СВЕТ НОВЫЕ КНИГИ

Коллектив. Вопросы экономики, эффективности капиталовложений и финансирования ирригации.

На русском языке. 25,0 изд. л. 1000 экз. Цена 2 р.

В сборнике помещены статьи: Ю. Е. Шенгера „Экономические проблемы ирригации в свете решений февральского (1964 г.) Пленума ЦК КПСС“; А. С. Харатова „О комплексном строительстве, орошении и освоении целинных земель Голодной степи, зоны Каракульского канала и Каршинской степи“ и др.

Книга предназначена для работников научно-исследовательских хозяйственных организаций, органов водного хозяйства, преподавателей и аспирантов вузов, занимающихся вопросами экономики ирригации.

Коллектив. Вопросы гидротехники и мелиорации.

На русском языке. 8,5 изд. л. 650 экз. Цена 71 к.

В сборник вошли статьи: А. А. Исаева „Элементы техники полива сельскохозяйственных культур подземными водами в пустыне Кызылкум“; С. С. Саид-Ходжаева „Некоторые вопросы экономики гидроэнергетики“; Г. П. Суровцева „Унифицированный метод расчета земляных плотин“ и др.

Книга предназначена для работников сельского хозяйства, ирригаторов, преподавателей и учащихся ирригационных и сельскохозяйственных вузов и техникумов.

Предварительные заказы принимаются отделом „Книга — почтой“.

Книга высылается наложенным платежом.

Адрес отдела „Книга — почтой“: г. Ташкент, ул. Волгоградская, 10.