

Межгосударственная координационная водохозяйственная комиссия государств
Центральной Азии (М К В К)
Министерство сельского и водного хозяйства Республики Узбекистан
НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «САНИИРИ»
Среднеазиатский научно-исследовательский институт им.В.Д.Журина

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ
ГРАДУИРОВКИ РАЗЛИЧНЫХ ВОДОПРОВОДЯЩИХ
СООРУЖЕНИЙ НА КРУПНЫХ КАНАЛАХ МЕЖ -
ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Ташкент - 1999 г.

Межгосударственная координационная водохозяйственная комиссия государств
Центральной Азии (М К В К)

Министерство сельского и водного хозяйства Республики Узбекистан

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ «САНИИРИ»

Среднеазиатский научно-исследовательский институт им.В.Д. Журина

Утверждаю

Генеральный директор

НПО «САНИИРИ», к.т.н.

Икрамов Р.Ж.

1999 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ
ГРАДУИРОВКИ РАЗЛИЧНЫХ ВОДОПРОВОДЯЩИХ
СООРУЖЕНИЙ НА КРУПНЫХ КАНАЛАХ МЕЖ -
ГОСУДАРСТВЕННЫХ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Ташкент - 1999 г.

Методические указания рассмотрены и одобрены Ученым Советом НПО САНИИРИ, протокол № 7 от 26 мая 1999 г.

Рецензенты:

1. БВО Сырдарья
2. БВО Амударья
3. НИЦ МКВК
4. ПО «Водпроект»
5. Институт «Узгипроводхоз».

Методические указания разработаны отделом комплексных исследований САНИИРИ им. В.Д.Журина.

Исполнители: зав.ОКИ, д.т.н. Скрыльников В.А.
м.н.с. Тимошенко Ю.В.

Методические указания разрабатывались по программе МКВК и поэтому предусматривались для градуировки водопроводящих сооружений на крупных каналах межгосударственных оросительных систем.

В связи с этим в указаниях рассмотрены наиболее распространенные сооружения, характерные для указанных оросительных систем.

Предлагаемая в указаниях методика градуировки разработана в общем виде и поэтому может быть использована для оценки пропускной способности водопроводящих сооружений на различных каналах внутригосударственных систем.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ	6
2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОПРОВОДЯЩИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СО- ОРУЖЕНИЙ	6
3. ПОДГОТОВКА ГТС И ГИДРОПОСТА К ГРАДУИРОВКЕ	7
4. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ НА ГИДРОМЕТРИЧЕСКОМ СТВОРЕ	II
5. ПОРЯДОК И УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ГРАДУИРОВКИ ГТС	II
6. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГРАДУИРОВКИ ГТС С ЗАТОПЛЕННЫМ И СВОБОДНЫМ СОПРЯЖЕНИЕМ БЪЕФОВ	12
6.1. Открытые регуляторы (ОР)	16
6.2. Трубочатые регуляторы с прямоугольным входным отверстием ($H = \text{const}$, $H \neq \text{const}$)	18
6.3. Трубочатые регуляторы с круглым входным отверстием ($H = \text{const}$, $H \neq \text{const}$)	20
6.4. Нерегулируемые водопроводящие ГТС	20
6.4.1. Водослив с широким порогом	20
6.4.2. Трубочатые нерегулируемые ГТС	22
7. ПОВЕРКА ГРАДУИРОВАННЫХ ГТС	23
8. ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ МЕТОДИКИ ГРАДУИ- РОВКИ ГТС	23
9. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГРАДУИРОВКИ ГТС И СОСТАВЛЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	25
10. НЕОБХОДИМЫЕ ЗАВИСИМОСТИ И ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГРАДУИРОВКИ ГТС	28
11. СОПОСТАВЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГТС ПО ПРЕДЛАГАЕ- МОЙ МЕТОДИКЕ ГРАДУИРОВКИ С ФАКТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ	35
12. ДОПУСТИМЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГРАДУИРОВОК ГТС СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	37
ПРИЛОЖЕНИЯ	38

ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ

μ	- коэффициент расхода отверстия или сооружения;
b	- ширина отверстия, м;
n	- количество отверстий;
a	- величина открытия затвора, м;
z_o	- разность уровней воды в верхнем и нижнем бьефах, подсчитанная с учетом скорости подхода, м;
h_c	- глубина воды в сжатом сечении (сжатая глубина), м;
H_o	- напор на пороге сооружения;
H_g	- действующий напор ($H = H_o - a$);
h_1	- высота прыжка в сжатом сечении, м;
φ	- коэффициент скорости, учитывающий потери напора;
ω_c	- площадь струи в сжатом сечении, м ² ;
ω	- площадь открытия щита, м ² ;
$\omega_{и}$	- площадь истечения;
ε	- коэффициент сжатия струи;
Q_k	- расход воды в канале, м ³ /с;
Q_p	- расчетный расход воды через сооружение без учета сжатия струи и потерь напора, м ³ /с;
Q_c	- расчетный расход воды через сооружение, м ³ /с;
μ_p	- расчетный коэффициент расхода;
a/H_o	- относительная величина открытия затвора;
B	- ширина канала по урезу воды, м;
h	- глубина наполнения воды в канале, м;
y	- показатель степени в формуле Павловского Н.Р.;
$h_{и}$	- бытовая глубина в канале в нижнем бьефе сооружения;
h''	- вторая сопряженная глубина.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях нарастающего дефицита воды в Центрально-Азиатском регионе вопрос водodelения как между государствами, так и внутри самих государств, приобретает важное значение. В этих условиях водопроводящим регулируемым сооружениям на каналах (водозаборы, перегораживающие сооружения, водовыпуски и т.п.) отводится роль водомерных устройств, которые необходимо градуировать. В связи с этим и разработаны данные методические указания. В настоящее время известны два способа градуировки, но они не могут быть использованы для определения пропускной способности водопроводящих сооружений. Первый способ выполняет градуировку водомерного поста без увязки с открытием затворов и расход воды определяется по показаниям водомерной рейки. Регулирование расхода воды в этом случае производится постепенным подбором открытия затворов с таким расчетом, чтобы уровень воды в канале соответствовал необходимому уровню по водомерной рейке. Это приводит к нежелательным организационным потерям и снижению оперативности водораспределения.

Изменение нуля рейки требует проведения градуировки водомерного поста в широком диапазоне изменения расходов воды.

Второй способ градуировки сооружений при затопленном режиме основан на построении номограмм по основному уравнению пропускной способности (уравнение 6...), в котором три неизвестных — μ , a , z . При проведении градуировки измеряются Q , a , b , z и из основного уравнения определяются значения μ . Затем строится график $\mu = f(z)$ и определяется аналитическое уравнение этого графика, которое подставляется в основное выражение. После этого в используемом уравнении остается два неизвестных — a , z .

Существующая методика строит номограммы по основному уравнению, которые представляют собой серию кривых, расположенных на всем поле графика и не дает однозначного решения, так как используется одно уравнение с двумя неизвестными. Более подробно о несостоятельности второго способа градуировки изложено в разделе 8. Настоящие «Указания ...» распространяются на водопроводящие сооружения как принятых в качестве СИР воды, так и нестандартных сооружений, расположенных на крупных каналах.

«Указания» устанавливают правила, требования, порядок градуировки водопроводящих регулируемых сооружений, способы обработки и характер документации для оперативного водораспределения стандартных и нестандартных сооружений.

«Указания» предназначены для применения водохозяйственными организациями стран СНГ при использовании водопроводящих сооружений для водоучета и оперативного водораспределения.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Градуированным водопроводящим гидротехническим сооружением является оборудованный комплекс устройств (сооружение и отрезок канала с гидростомом), проградуированные в натуре и позволяющие оперативно определять расход воды.

1.2. Участок канала для гидростомы принимается прямолинейным, оборудованным уклонным водостомом на длине 3-5 км, по которому измеряется уклон водной поверхности при различных расходах воды и устанавливается отсутствие подпора со стороны нижележащего сооружения.

1.3. Гидростом в процессе многолетней эксплуатации должен иметь постоянную кривую $h = f(Q)$, подтверждающей его работу по типу «Фиксированное русло».

1.4. При наличии изменения графика $h = f(Q)$, от заилиения или зарастания канала необходимо вводить коррективы в расчетные формулы, графики и градуировочные характеристики (таблицы координат).

1.5. Градуировка стандартных и нестандартных ГТС состоит из следующих этапов:

- определение отметок уровня воды в верхнем и нижнем бьефах,
- снятие показания водомерной рейки,
- измерение расхода воды методом «площадь-скорость»,
- фиксирование показания высоты открытия затворов по индикаторам, специально оборудованным устройствам или по величине изменения винта,

1.6. Итогом градуировки является получение расчетных формул, графиков и градуировочных характеристик в табличной форме (таблица координат).

1.7. Поверочная градуировка производится не реже 1 раза в 2 года с корректировкой полученных ранее данных градуировки.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ ВОДОПРОВОДЯЩИХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Все водопроводящие гидротехнические сооружения могут быть как регулируемые, так и нерегулируемые.

2.1. Водопроводящие регулируемые и нерегулируемые сооружения в целях градуировки классифицируются по типу конструкции, количеству контролируемых параметров и т.п.

2.1.1. По типу конструкции ГТС могут быть:

- открытые водопроводящие регулируемые (с затвором) и нерегулируемые (без затвора) сооружения,
- трубчатые водопроводящие регулируемые (с затвором) и нерегулируемые (без затвора) сооружения.

2.1.2. По типу установленного затвора:

- плоские вертикальные;
- плоские наклонные;
- сегментные;
- шандорные;
- клапанные.

2.1.3. По режиму истечения:

- со свободным истечением из-под затвора;
- с затопленным истечением из-под затвора.

2.1.4. По количеству контролируемых параметров:

- с одним контролируемым параметром H ;
- с двумя контролируемыми параметрами H, a ;
- с тремя контролируемыми параметрами H, a, h или z .

3. ПОДГОТОВКА ГТС И ГИДРОПОСТА К ГРАДУИРОВКЕ

3.1. После выбора ГТС определяют сроки проведения градуировки и состав рабочей бригады, знакомят с ВРС по технической документации и путем осмотра его на месте, назначают точки размещения С.И., определяют число контролируемых параметров и местоположение гидрометрического створа для выполнения контрольных измерений расхода воды, осуществляют инструментальную съемку ГТС.

3.2. Градуировку ГТС осуществляет бригада из 3-4 человек (гидрометр, гидротехник, метролог) эксплуатационного предприятия. Срок проведения градуировки может составлять до 5 месяцев, так как проводится обычно в вегетационный период и должен охватить расходы воды от 15 до 85 %

от максимального расхода. Срок градуировки может сократиться до 2-3 месяцев если ее удастся провести до вегетационного периода.

3.3. Градуировка ГТС может выполняться силами службы эксплуатации или специализированными институтами на основе заключения договора.

3.4. Ознакомление с ГТС проводят по имеющейся технической документации (проект, технический паспорт, инструкция по эксплуатации). В результате чего устанавливают основные размеры (отметки, расходы и уровни воды, и т.п.), а также тип сопряжения бьефов – затопленный или с отогнанным прыжком. Если ГТС работает при различных режимах, т.е. свободное истечение переходит в затопленное и, наоборот, следует четко фиксировать границы по напорам, глубине воды, открытиям затвора, перепадам уровней каждого истечения, так как градуировка сооружения проводится для них отдельно.

3.5. Местоположение и оборудование точек измерения контролируемых параметров.

3.5.1. К контролируемым параметрам на ГТС относятся:

- напор H или уровень воды z_v в верхнем бьефе;
- глубина воды h или уровень z_z непосредственно за затвором;
- глубина воды или уровень в нижнем бьефе; обычно эти параметры

фиксируются в створе гидропоста;

3.5.2. Пункт измерения напора H в верхнем бьефе должен располагаться:

- на расстоянии l_1 , равном не менее $3 H_{\max}$ для всех типов сооружений с фронтальным расположением отвода, т.е. ось отводящего канала является продолжением оси подводящего канала;
- на расстоянии l_2 , равном не менее $2 H_{\max}$ от отверстия сооружения для боковых отводов, ось которых направлена под углом 30-60 % к основному каналу;

- для многопролетных сооружений, а также узлов сооружений, имеющих подходный участок большой емкости с подходными скоростями не более 1,5 м/с и колебаниями уровня не выше ± 3 см, допускается оборудование одного пункта измерения H . В противном случае необходим индивидуально оборудованный пункт измерения H для каждого отверстия (сооружения).

3.5.3. Пункты измерения глубины воды h_z или уровня воды z_n в нижнем бьефе при затопленном и свободном истечении располагают для всех типов сооружений на расстоянии не менее $12 h_{H \max}$ за водобоем, колодцем и рисбермой

3.5.4. Для измерения контролируемых параметров следует применять следующие средства измерения и приспособления:

- для напора H , уровня z_v и z_n и глубины h_z используется уровнемерная рейка, а при механизации и автоматизации измерений используются самопис-

цы уровней, уровнемеры промышленного изготовления, дистанционные и телемеханические измерители уровня с местной индикацией;

- для учета высоты открытия затвора а применяются измерители положения затвора. При их отсутствии рекомендуются следующие приспособления и способы:

- для плоских затворов следует укрепить на стойке рамы или стенке вдоль затворного паза линейку (шкалу) с сантиметровыми делениями ;

- можно измерять высоту поднятия затвора по высоте поднятия винта, исключая холостую часть. Применять при этом рейки, измерительные линейки путем сравнения со стандартным образцом. Отклонения должны быть не более $\pm 0,2 \%$.

3.5.5. Установка уровнемерных реек обязательна во всех случаях, независимо от наличия приборов, так как последние привязываются и контролируются посредством первых.

3.5.6. При наличии колебания уровней воды все измерители следует устанавливать в успокоительных колодцах.

3.6. Подготовка гидрометрического створа ниже ГТС.

3.6.1. Гидрометрический створ для контрольных измерений расхода воды при градуировке ГТС назначается на стационарном (существующем) гидрометрическом посту, а при его отсутствии на специально организуемом временном посту.

3.6.2. Гидрометрический створ должен быть расположен на канале ниже ГТС на расстоянии, исключающем дополнительные поступления, отвод и потери воды в зоне ее спокойного и равномерного движения, но не далее 50 В.

3.6.3. Существующий гидрометрический створ должен удовлетворять следующим основным требованиям :

- участок русла должен быть прямолинейным;
- форма поперечного сечения и уклон канала должны быть постоянными по длине;
- гидрометрический створ должен быть удален от ГТС на расстоянии не менее, чем 10 В, при котором исключается появление сбойных течений и волновых явлений;
- участок канала должен быть освобожден от растительности, мусора и других предметов;
- участок канала должен быть оборудован гидрометрическим мостиком и доступен для проведения измерений и подъезда автомашин;
- гидрометрический пост должен быть снабжен водомерной рейкой, топографским репером.

3.6.4. Подготовка временного гидрометрического створа включает:

- выбор участка русла и устройство гидрометрического створа со средствами переправы (мостик, лодка);
- нивелировку и съемку участка русла канала, в результате которой должен быть получен поперечный профиль в гидрометрическом створе с отметками дна на каждой вертикали и их расстояние от постоянного начала. Отметки дна и нуль должны быть привязаны к реперу;
- количество скоростных вертикалей должно быть от 7 до 13; среднюю вертикаль рекомендуется совмещать с осью потока в канале;
- положение вертикалей необходимо фиксировать на мостике или на троссе, что позволит повторить измерения в случае необходимости;

3.7. Инструментальная съемка ГТС

3.7.1. Съемка ГТС заключается в нивелировке продольных и поперечных сечений, уровня воды и определения основных размеров сооружения в целях составления схемы в паспорте сооружения с подводящим и отводящим участками канала, включая гидрометрический створ;

3.7.2. Все отметки определяются привязкой к реперу. Отметки дна сооружения и начала измерительных шкал и водомерных реек определяются с точностью не более 0,0002 на 1 м превышения, а линейные размеры с относительной погрешностью не более $\pm 0,2 \%$, особенно обратить внимание на те размеры, которые входят в расчетные формулы для определения расхода воды.

3.7.3. К ним относятся:

- отметка порога отверстия истечения, которая определяется как средняя из измеренных по краям дна и в середине. Для круглого отверстия принимается средняя из трех измерений дна.

3.7.4. Ширина В прямоугольного входного отверстия принимается как средняя из трех измеренных величин ширины для высоты открытия затвора (низ, середина, верх).

3.7.5. Диаметр Д круглого отверстия определяется как среднее значение из измеренных двух значений как по вертикальной, так и по горизонтальной осям отверстия.

3.7.6. Отметки нулей верхней и нижней рейки и различных шкал принимается как среднее значение из 3-х нивелировок с учетом указанной выше точности проведения нивелировочных работ (пункт 3.7.2).

3.7.6. Отметки нулей верхней и нижней рейки и различных шкал принимаются как среднее значение из 3-х нивелировок с учетом указанной выше точности проведения нивелировочных работ (пункт 3.7.2).

3.8. Состав оборудования, приборов и инструментов для градуировки ГТС

3.8.1. Для проведения градуировочных работ, связанных с градуировкой ГТС, следует применять серийное геодезическое и гидрологическое оборудование.

3.8.2. Для измерения скорости открытого потока следует применять гидрометрические вертушки типа ГР-21 (ГР-21М), по ТУ 25-04-1629-71 и ГР-55 по ТУ 25-04-28-71.

3.8.3. Для фиксирования времени измерения скорости в вертикалях следует применять стандартные секундомеры, имеющие заводской паспорт.

3.8.4. Для проведения нивелировочных работ необходимо использовать нивелиры 2-3 класса, а для определения линейных размеров стандартные рулетки.

3.8.5. Для установки вертушек в измеряемых точках на вертикали используются стандартные штанги с ценой деления 1 см при глубинах в канале до 3 м и гидрометрические лебедки типа «Нева ПИ-23» по ТУ 25-04-1640-72 со счетчиками длины опускания вертушки при глубине потока более 3 м.

3.8.6. При наличии колебания воды в створе г/п превышающего 0,05 м, для измерения уровня следует использовать успокоительные колодцы.

4. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ НА ГИДРОМЕТРИЧЕСКОМ СТВОРЕ

- Измерения расхода воды в створе гидрометрического поста необходимо производить одним из существующих способов – детальным или основным двухточечным, которые излагаются в ВТР-М-1-80 или в «Наставлении гидрометрическим станциям и постам».

- количество вертикалей в створе гидропоста обычно принимается не менее 9, а расстояние между вертикалями определяется как $1/10 B$.

5. ПОРЯДОК И УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ГРАДУИРОВКИ ГТС

- Расход воды измеряется при колебании уровня не более $\pm 0,01$ м;

- измерение напора, открытия затворов, перепады уровней производятся одновременно с измерением расхода воды;
- измерение расхода воды вначале производится двумя способами – детальным и основным (двухточечным) и после того, как будет установлено, что основной способ отличается от детального не более чем на $\pm 2\%$, переходят на основной способ;
- установление режима истечения жидкости через сооружения является обязательным;
- при проведении градуировки в зависимости от типа ГТС, а также режима истечения необходимо использовать расчетные формулы и измеряемые параметры, которые приводятся ниже по тексту и в приложении 1.

6. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ГРАДУИРОВКИ ГТС С ЗАТОПЛЕННЫМ И СВОБОДНЫМ СОПРЯЖЕНИЕМ БЪЕФОВ

Основная цель градуировки – определение количественной характеристики коэффициента расхода, получение дополнительного уравнения для составления замкнутой системы уравнений и получение градуировочных характеристик в виде расчетных формул, графиков и таблиц координат.

Различают два основных типа сопряжения бьефов:

1. С затопленным прыжком (рис. 6.1, в, г, д);
2. С отогнанным прыжком (рис. 6.1, а, б).

Имеется случай с прыжком в сжатом сечении, который редко встречается на практике и здесь не рассматривается.

Для каждого типа сопряжения бьефов при градуировке должны использоваться соответствующие расчетные зависимости.

6.1. Открытые регуляторы (ОР)

6.1.1. Затопленный режим сопряжения бьефов. 6.1, в, г, д).

Условие затопления – $h_{II} > a$, $h^{II} < h_{II}$

Расход воды определяется по выражению

$$Q_c = Q_k = a b n \mu \sqrt{2g} \sqrt{z} \quad (6.1)$$

где μ – коэффициент расхода;
 a – открытие шита;
 b – ширина отверстия;

- n - количество одновременно работающих отверстий;
z - перепад уровней (разность отметок верхнего и нижнего бьефов).

Измеряемые параметры и определяемые величины:

a, b, z, Q и n

Все одновременно работающие затворы рекомендуется поднимать на одинаковую высоту. Количество измерений - не менее 8, охватывающих основной диапазон пропускаемых по каналу расходов воды.

Измерения выполняют для различного сочетания одновременно открытых отверстий. Вначале для одного открытого отверстия, затем для двух одновременно открытых отверстий и т.д. По измеренным в канале и на сооружении параметрам Q, a, b, n, z определяют значения коэффициента расхода μ для различного сочетания одновременно открытых отверстий. После этого строятся графики

$$\mu_1 = f(z)_1 \quad (6.2)$$

$$\mu_2 = f(z)_2 \quad (6.3)$$

$$\mu_n = f(z) \quad (6.4)$$

где μ_1, μ_2, μ_n - коэффициенты расхода для одного, двух и «n» одновременно открытых щитов соответственно.

Затем строят графики изменения перепада уровней в зависимости от расхода воды в виде

$$z = f(Q) \quad (6.5)$$

После этого определяют аналитический вид приведенных уравнений (6.2), (6.3), (6.4), (6.5) и составляют следующую замкнутую систему уравнений:

первая система - решаются совместно уравнения (6.1), (6.2), (6.5);

вторая система - решаются совместно уравнения (6.1), (6.3), (6.5);

третья система - решаются совместно уравнения (6.1), (6.4), (6.5).

В результате получаем следующие градуировочные характеристики в виде расчетных формул для различного сочетания одновременно открытых затворов:

$$n_1 = 1; a_1 = \frac{Q_k}{b \cdot 1 \cdot f(z)_1 \sqrt{2g} \sqrt{f(Q_k)}} \quad (6.6)$$

$$b \cdot 1 \cdot f(z)_1 \sqrt{2g} \sqrt{f(Q_k)}$$

$$n_1 = 2; a_2 = \frac{Q_k}{b \cdot 2 \cdot f(z)_2 \sqrt{2g} \sqrt{f(Q_k)}} \quad (6.7)$$

$$b \cdot 2 \cdot f(z)_2 \sqrt{2g} \sqrt{f(Q_k)}$$

$$n_1 = n; a_n = \frac{Q_k}{b \cdot n \cdot f(z)_n \sqrt{2g} \sqrt{f(Q_k)}} \quad (6.8)$$

$$b \cdot n \cdot f(z)_n \sqrt{2g} \sqrt{f(Q_k)}$$

По приведенным выше уравнениям составляются градуировочные характеристики в виде таблиц координат, которые передаются службе эксплуатации для оперативного и точного водораспределения.

6.1.2. Свободный режим сопряжения бьефов открытых регуляторов рис.6.1, а, б)

Условие свободного истечения - $h^{II} > h_{II}, h_c < a$

Пропускная способность О.Р. при свободном истечении определяется по формуле

$$Q = b n h_c \sqrt{2g} \sqrt{H_0 - h_c} \varphi_c \quad (6.9)$$

где b - ширина одного отверстия;

n - количество одновременно открытых отверстий;

h - глубина в сжатом сечении;

φ_c - коэффициент скорости ($\varphi_c \geq 0,95$) / 1,485 с. /

αV^2

H_0 - напор с учетом скорости подхода ($H_0 = H + \frac{\alpha V^2}{2g}$).

При открытиях щита a (0,4-0,45) H, величиной скорости подхода V_0 следует пренебречь / 1,485 с. /

Глубина в сжатом сечении определяется по выражению

$$h_c = a \epsilon_0 \quad (6.10)$$

где: a - величина открытия затвора;

ϵ_0 - коэффициент вертикального сжатия, равный $\epsilon_0 = 0,62-0,64$ при острой кромке затвора /1,484 с. / и условиях совершенного сжатия.

Известно, что коэффициент расхода определяется по выражению

$$\mu = \epsilon_0 \varphi_0 \quad (6.11)$$

Выражение (6.9) с учетом (6.10), (6.11) примет вид

$$Q = \mu b n a \sqrt{2g} \sqrt{H-0,64a} \quad (6.12)$$

Для открытых регуляторов, как правило, $H = \text{const}$, так как уровень воды в верхнем бьефе устанавливается на отметке НПУ.

В процессе градуировки измеряются Q , b , a , H и рассчитываются значения

$$\mu = Q / b n a \sqrt{2g} \sqrt{H-0,64a}$$

Затем строится график $\mu = f(a | H)$ и определяется его аналитический вид. Полученная формула решается с уравнением (6.12).

Градуировочная характеристика может быть представлена в виде

$$Q = f(a/H) b n a \sqrt{2g} \sqrt{H-0,64a} \quad (6.13)$$

При постоянном H , формула (6.13) позволяет рассчитать таблицу координат в виде $Q = f(a)$.

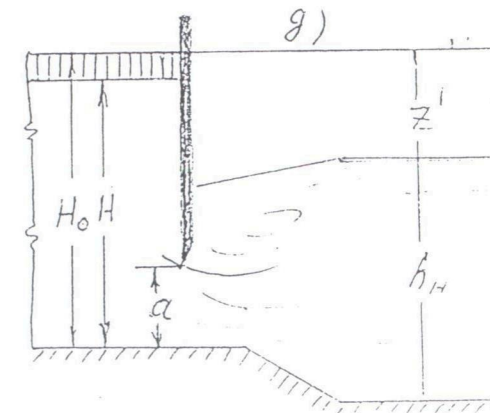
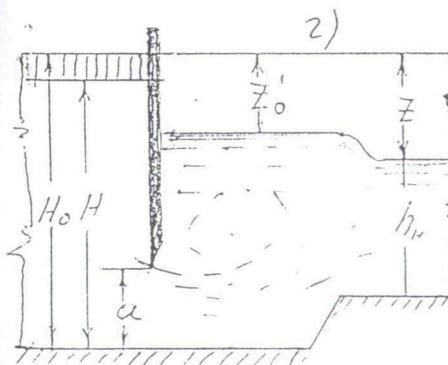
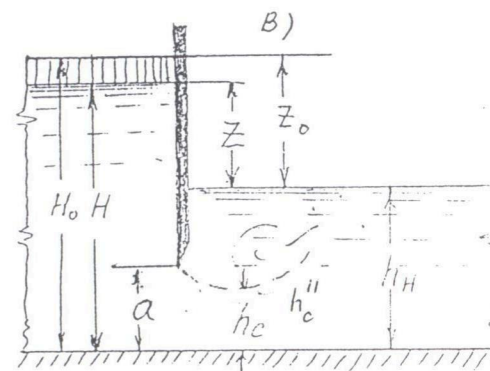
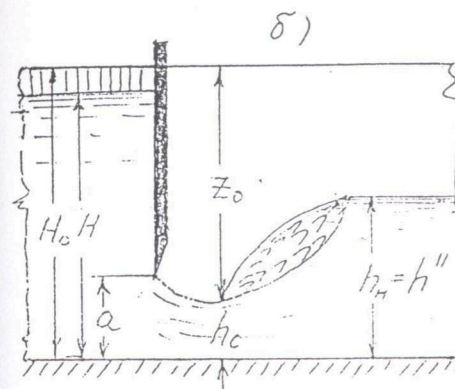
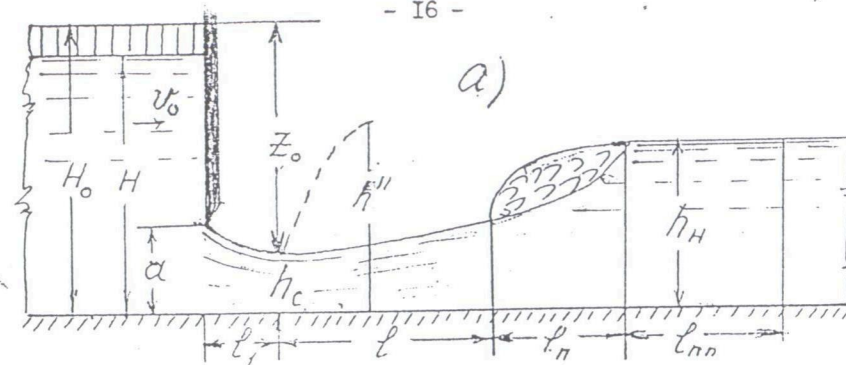


Рис. 6.1. Схемы сечения бьефа для открытых регуляторов

- а) с острым краем затвора;
- б) с прыжком в сечении затвора;
- в) с затупленным прыжком;
- г) с затупленным прыжком; для измерения уровня воды в бьефе;
- д) с затупленным прыжком; для измерения уровня воды в бьефе.

6.2. Трубчатые регуляторы с прямоугольным входным отверстием (ТРП) (рис. 6.2.а)

6.2.1. Затопленный режим сопряжения бьефов ТР

Условие затопленного истечения - $h_H > a$

Различают два типа таких сооружений.

Первый тип имеет постоянное значение напора перед сооружением ($H = \text{const}$) и в основном характерен для водопроводящих сооружений, расположенных непосредственно на крупных каналах.

Второй тип представляет собой водовыпуски из ирригационных водохранилищ, для которых напор перед плотиной будет изменяться по мере сработки их объемов ($H \neq \text{const}$).

Первый тип трубчатых регуляторов ($H = \text{const}$) при затопленном истечении из-под щита градуируется с помощью уравнения (6.1)

$$Q = \mu b n a \sqrt{2g} \sqrt{z}$$

Измеряются Q , b , a , H , определяется μ

Строятся графики $\mu = f(z)$ и $z = f(Q)$, которые совместно с (6.1) позволяют получить градуировочное уравнение в виде

$$a = Q / F(f(Q)) b n \sqrt{2g} \sqrt{f(Q)} \quad (6.14)$$

Второй тип трубчатых регуляторов ($H \neq \text{const}$) градуируется также с помощью (6.1) в виде

$$Q = \mu b n a \sqrt{2g} \sqrt{H - h_H} \quad (6.15)$$

где h_H - глубина воды в канале, определяется по графику $h = f(Q)$ или по аналитическому уравнению этого графика.

При измеренных значениях Q , b , a , H определяются значения μ из выражения (6.15) и выявляется вид зависимости $\mu = f(a/H)$ или $\mu = f(H)$. Если используется связь $\mu = f(H)$, то градуировочное уравнение примет вид:

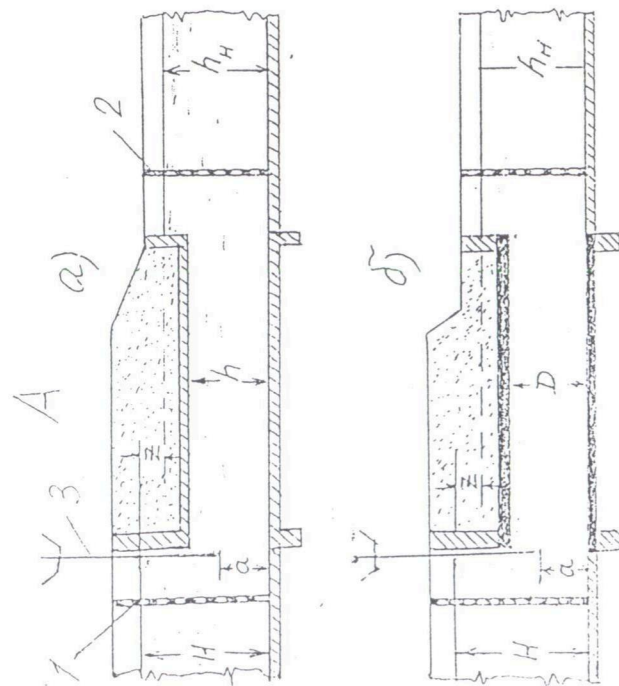
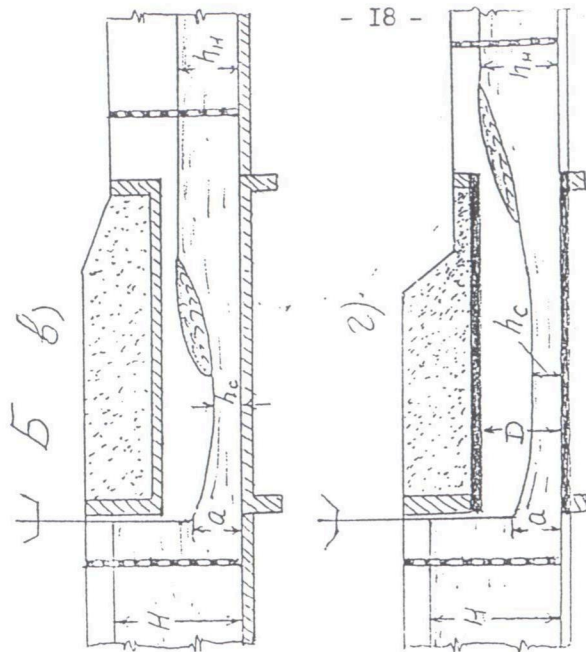


Рис. 6.2. Схемы сопряжения бьефов для трубчатых регуляторов

А - с затопленным прыжком
Б - с отогнутым прыжком
В - с прямоугольным сечением
Г - с круглым сечением



$$a = \frac{Q}{f(H) \cdot b \cdot n \sqrt{2g} \sqrt{H-f(Q)}} \quad (6.16)$$

С помощью (6.16) можно рассчитать номограмму $a = f(Q, H)$ в следующей последовательности. Принимается определенное значение расхода воды и для него задается несколько значений H и вычисляются значения a . Затем, принимают новое значение Q и для нескольких значений H вычисляется a .

Имеющийся у службы эксплуатации материал градуировки ГТС дает возможность получить связь $a = f(H)$, которая позволит определять величину открытия затворов при заданном значении H и по номограмме $a = f(Q, H)$ определять расход воды.

Появляется также возможность использовать выражение для определения коэффициента расхода в виде $\mu = f(a | H) = f(F(H)/H)$. Градуировочное уравнение в этом случае примет вид

$$a = \frac{Q}{\frac{F(H)}{H} \cdot b \cdot n \sqrt{2g} \sqrt{H-f(Q)}} \quad (6.17)$$

С помощью (6.17) составляется номограмма $a = f(Q, H)$. Затем с помощью связи $a = f(H)$ из номограммы определяется расход воды Q на пересечении линий a и H .

6.2.2. Свободный режим сопряжения бьефов (ТРП)

Первый тип трубчатых регуляторов ($H = \text{const}$) с прямоугольным сечением градуируется с помощью уравнения.

$$Q = \mu \cdot b \cdot n \cdot a \sqrt{2g} \sqrt{H-0,64 a} \quad (6.18)$$

Для измеренных Q, b, a, H вычисляется коэффициент расхода

$$\mu = Q / b \cdot n \cdot a \sqrt{2g} \sqrt{H-0,64 a}$$

и строится график $\mu = F(a | H)$.

При известном законе изменения μ , выражение (6.18) переписывается в виде

$$Q = F(a/H) \cdot b \cdot n \cdot a \sqrt{2g} \sqrt{H-0,64 a} \quad (6.19)$$

которое при $H = \text{const}$ позволяет построить таблицу координат в виде

$$Q = f(a)$$

Второй тип трубчатых регуляторов прямоугольного сечения ($H = \text{const}$) для свободного истечения ($h_c < a$) (регуляторы - водовыпуски из водохранилищ) градуируются также как и первый тип путем отыскания закона изменения $\mu = F_1(a/H)$, но в отличие от последнего итогом градуировки является номограмма $Q = f(a, H)$ по уравнению (6.19). Отметим, что в отличие от приведенной ранее методики градуировки ОР с затопленным режимом, для которых существующая методика рекомендует использовать номограмму в виде $Q = f(a, z)$, где z зависит от расхода воды, для рассматриваемых условий номограмму использовать можно потому, что напор H на сооружении не связан с расходом воды и изменяется постепенно по мере сработки водохранилища.

Измеряют Q, b, a, H и определяют μ из (6.18).

$$\mu = \frac{Q}{b \cdot n \cdot a \sqrt{2g} \sqrt{H-f(Q)}}$$

Итогом градуировки номограмма $a = f(Q, H)$.

6.3. Трубчатые регуляторы с круглым входным сечением ТРК

6.3.1. Затопленный режим сопряжения бьефов ТРК $H = \text{const}$

Условие затопления $h_{II} > D$, $h'' < h_{II}$

Расход воды определяется по формуле

$$Q = \mu \cdot \omega_{II} \sqrt{2g} \sqrt{z} \quad (6.20)$$

где ω_n - площадь истечения, рассчитывается по выражению В. М. Бутырина

$$\omega_n = \left(\frac{1,7 a}{R} - 0,25 \right) R^2 \quad (6.21)$$

$$\text{при } a = 2 R; \quad \omega_n = \pi R^2$$

В процессе градуировки измеряются a, z, Q , вычисляется по выражению (6.10)

$$\mu = Q / \omega_n \sqrt{2 g \sqrt{z}}$$

Строятся графики $\mu = f(z)$ и $z = f(Q)$.

Градуировочное уравнение можно записать в виде

$$Q = F(f(Q)) \omega_n \sqrt{2 g \sqrt{f(Q)}} \quad (6.22)$$

Для построения номограммы при $H \neq \text{const}$ в уравнении (6.19) принимается закон изменения $\mu = F_1(a/H)$, задаются конкретным значением напора H_1 и для него принимают несколько значений a_1 . Затем принимают новое значение H и для него задают ряд значений

В результате чего получается номограмма, связывающая расход воды в зависимости от открытия напора H , т.е. $Q = f(a, H)$.

6.3.2. Свободный режим сопряжения бьефов

Условие свободного истечения - $h_c < a$.

Расход воды по рекомендациям М.В. Бутырина определяется по формуле

$$Q = \mu \omega_n \sqrt{2 g \sqrt{H - 0,7 a}} \quad (6.23)$$

где ω_n - площадь истечения определяется по выражению (6.21)

*) Формула 6.21 дает завышенные значения площади при $a = 2 R$

Измеряются Q и a , определяется коэффициент расхода

$$\mu = Q / \omega_n \sqrt{2 g \sqrt{H - 0,7 a}} \quad (6.24)$$

Затем строится график $\mu = f(a/H)$. При $H = \text{const}$ градуировочная характеристика $Q = f(a)$, при $H \neq \text{const}$ градуировочная характеристика строится в виде номограммы $Q = f(a, H)$.

6.4. Нерегулируемые водопроводящие ГТС

6.4.1. Водослив с широким порогом (ВШП)

6.4.1.1. Затопленный режим сопряжения бьефов для ВШП (рис.6.3,а)

Условие затопления - $h_n / H > 0,7$

Все регулируемые ГТС при полностью открытых затворах переходят в нерегулируемые сооружения.

Расход воды для ВШП определяется по формуле

$$Q = \varphi_n b h_n \sqrt{2 g (H - h_n)} \quad (6.25)$$

где φ_n - коэффициент для затопленного режима

h_n - высота затопления

В некоторых рекомендациях, в частности, в ТУ 12-51 / 1,426 с. / , вместо h_n принимается

$$h = h_n - z_{nc}$$

Здесь z_{nc} - перепад восстановления (см.рис.6.3 а), который появляется потому, что часть кинетической энергии потока переходит в потенциальную и уровень воды в этом месте несколько поднимается

Его величину можно определить по графику Чугаева Р.Р. / 1, 426 с. / . Но в большинстве случаев им пренебрегают.

Ниже приведены значения коэффициента затопления φ_n в зависимости от относительного затопления h_n / H .

Таблица 1

h_n/H	0,7	0,72	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,84	0,85	0,86
φ_n	1,0	0,99	0,98	0,97	0,95	0,93	0,90	0,87	0,85	0,83

h_n/H	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	
φ_n	0,81	0,79	0,77	0,74	0,71	0,68	0,63	0,60	0,55	

В связи с тем, что канал может зарастать и заиливаться, что существенно сказывается на пропускной способности (ВШП), то фактические значения φ_n могут отличаться от приведенных.

Поэтому необходимо проводить градуировку, замеряя $Q_k, h_n, H_0 - h_n$ и вычисляя по выражению (6.25).

6.4.1.2. Свободный режим сопряжения бьефов для ВШП (рис. 6.3, б)

Условие свободного истечения - $h_n/H < 0,7$.

Расход воды незатопленного водослива с широким порогом определяется по формуле /1, 420 с. /.

$$Q = \varepsilon m b n \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (6.26)$$

где ε - коэффициент бокового сжатия струи; изменяется в пределах $\varepsilon = 0,85-0,95$.

m - коэффициент расхода; определяется по выражению /1, 418 с. /.

$$m = 0,385 \varphi \quad (6.27)$$

Здесь φ - коэффициент скорости; которые авторы при отсутствии закругления на пороге принимают его равным $\varphi \approx 0,85$ и при наличии закругления $\varphi = 0,92$.

В этих случаях $m = 0,32$ и $m = 0,35$ соответственно /1, 420 с. / . Если сечение канала перед водосливом $\Omega > 4 (b H)$, то скоростью подхода V_0 пренебрегают, и тогда (6.26) переписывается в виде

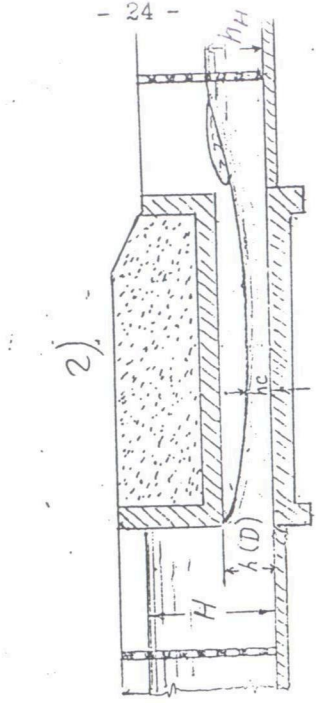
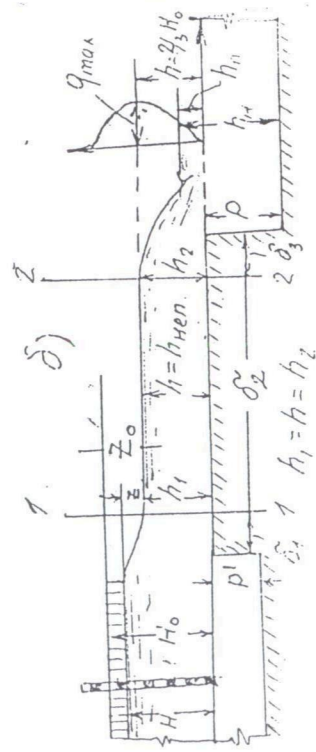
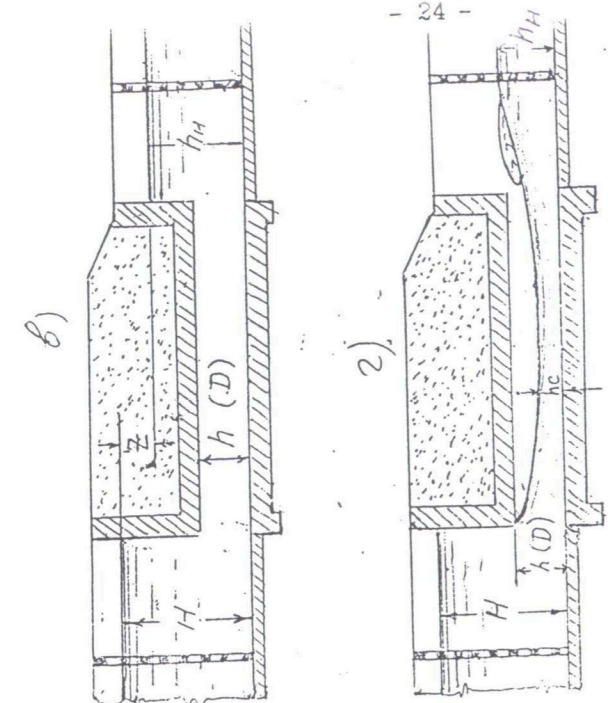
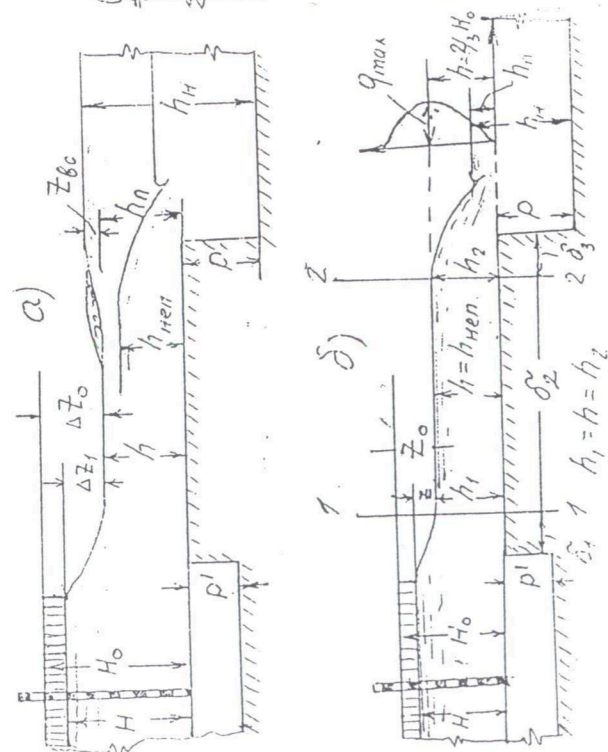


Рис. 6.3. Нерегулируемые водопропускные сооружения
а) подтопленный водослив с широким порогом
б) незатопленный водослив с широким порогом
в) затопленный водослив с широким порогом
г) безнапорная труба прямоугольного сечения

$$Q = \varepsilon m b n \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (6.28)$$

В процессе градуировки, измеряя Q , b , H и из (6.26) определяют значение

$$\varepsilon m = m_1 \quad (6.29)$$

Коэффициент m_1 в выражении (6.29) является уточненным коэффициентом расхода в формуле (6.26).

6.4.2. Трубчатые нерегулируемые ГТС

6.4.2.1. Затопленный режим сопряжения бьефов (рис. 6.3, в)

Условие затопления - $h_n > h(D)$

Пропускная способность труб, работающих в напорном режиме без регулирования затворами на входе и выходе, определяют по формулам:

$$\text{Для прямоугольного входа} \quad Q = \mu b h n \sqrt{2g} \sqrt{z} \quad (6.30)$$

$$\text{Для круглого входа} \quad Q = \mu \omega \sqrt{2g} \sqrt{z} n \quad (6.31)$$

При замеренных b , h , z , Q и ω , z , Q определяют коэффициент расхода μ и строят график $\mu = f(z)$. Градуировочные характеристики в виде (6.30) и (6.31).

6.4.2.2. Свободный режим сопряжения бьефов (рис. 6.3, г)

Расход воды в безнапорной нерегулируемой трубе определяется по формулам:

$$\text{прямоугольный вход} \quad - \quad Q = \mu b h n \sqrt{2g} \sqrt{H - 0,64 h} \quad (6.32)$$

$$\text{круглый вход} \quad - \quad Q = \mu \omega \sqrt{2g} \sqrt{H - 0,7 D} \quad (6.33)$$

В процессе градуировки измеряются Q , H и определяется коэффициент расхода $\mu = f(h|H)$ и $\mu = f(D|H)$. Градуировочные характеристики, после определения μ , в виде (6.32) и (6.33).

7. ПОВЕРКА ГРАДУИРОВАННЫХ ГТС

7.1. Поверка ГТС производится после завершения градуировки, ежегодно в начале сезона.

7.2. При установившемся режиме потока измеряют величины контролируемых параметров и определяют расход воды поверяемого ГТС по градуировочной характеристике.

7.3. Одновременно измеряется расход воды в створе гидропоста основным способом.

7.4. Операцию поверки следует повторить не менее трех раз для значений расхода воды в канале, отличающихся между собой не менее чем на 20 %.

7.5. Вычисляется относительная погрешность по выражению

$$\sigma = \pm \left(\frac{Q_n - Q_{обр}}{Q_{обр}} \right) \quad (7.1)$$

где σ - относительная погрешность;

Q_n - расход воды поверочный по градуировочной характеристике данного ГТС;

$Q_{обр}$ - измеренный расход воды в створе гидропоста.

Если максимальное отклонение результатов поверки, вычисленное по (7.1) не превышает 7 %, то ГТС допускается к эксплуатации.

7.6. Результаты периодических проверок оформляются соответствующим актом и заносятся в паспорт ГТС.

8. ОСНОВНЫЕ НЕДОСТАТКИ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ МЕТОДИКИ ГРАДУИРОВКИ ГТС

8.1. Затопленный режим сопряжения бьефов

Для градуировки ГТС с затопленным режимом истечения из-под щита в существующей методике используется уравнение (6.1), в котором три неизвестных - μ , a , z при искомом Q .

По существующей методике градуировки при замеренных Q , b , a , z определяются значения μ и строится график $\mu = f(z)$. При выявлении аналитического вида этого графика, уравнение (6.1) переписывается в виде

$$Q = a b n f(z) \sqrt{2g} \sqrt{z} \quad (8.1)$$

После этого в приведенном уравнении остается два неизвестных - a и z . Несмотря на это, в существующей методике уравнение (8.1) используется для построения номограммы $Q = f(a, z)$ в следующей последовательности. Принимается постоянным значение a и для него, задаваясь несколькими значениями z определяют несколько расходов. Так повторяют расчет для ряда значений a , в результате чего получается указанная выше номограмма.

Но эта методика не учитывает характерную особенность гидростов, заключающуюся в том, что для каждого канала существует только одна кривая $Q = f(h)$, которая будет справедлива только для градуированного гидростова.

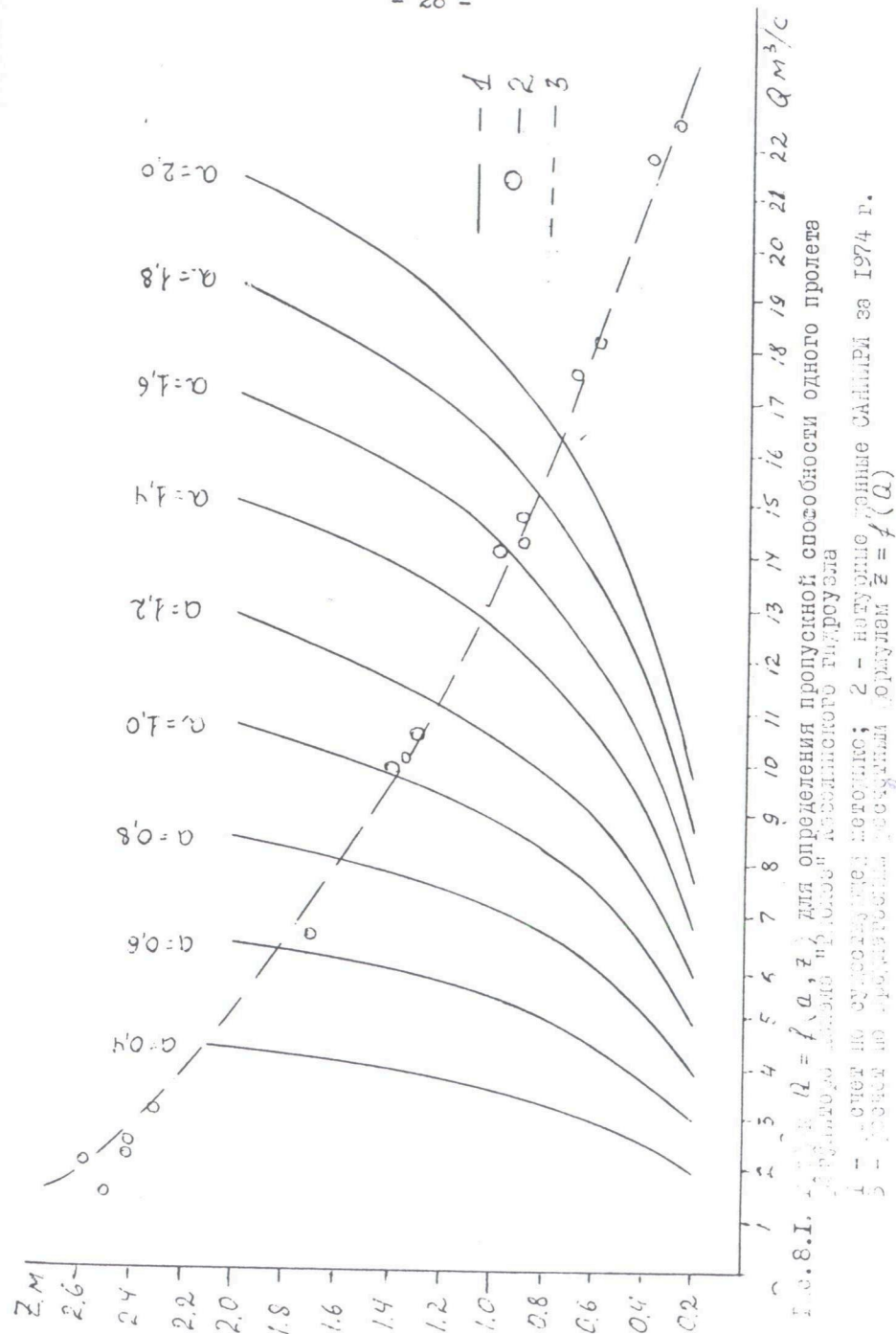
При постоянной отметке уровня воды перед сооружением и при изменении расхода воды через ГТС, увеличивается глубина наполнения в канале и уменьшается перепад уровней z . Следовательно, для конкретного ГТС будет свой закон изменения z от Q , т.е. свой график $z = f(Q)$.

Эта взаимосвязь z от Q выражается формулой (6.5), позволяющей совместно с (8.1) составить замкнутую систему уравнений, а, следовательно, получить градуировочное уравнение в виде

$$a = \frac{Q}{b n F(f(Q)) \sqrt{2g} \sqrt{f(Q)}} \quad (8.2)$$

Уравнение (8.2) позволяет построить таблицу координат, по которой, для заданного Q , определяют величину открытия затвора.

На рис. 8.1, 8.2, 8.3 приведены номограммы $Q = f(a, z)$, построенные по существующей методике для некоторых ГТС. На эти номограммы нанесены и наши рекомендации $z = f(Q)$, которые на графике занимают вполне конкретную область возможного использования и хорошо совпадают с натурными данными.



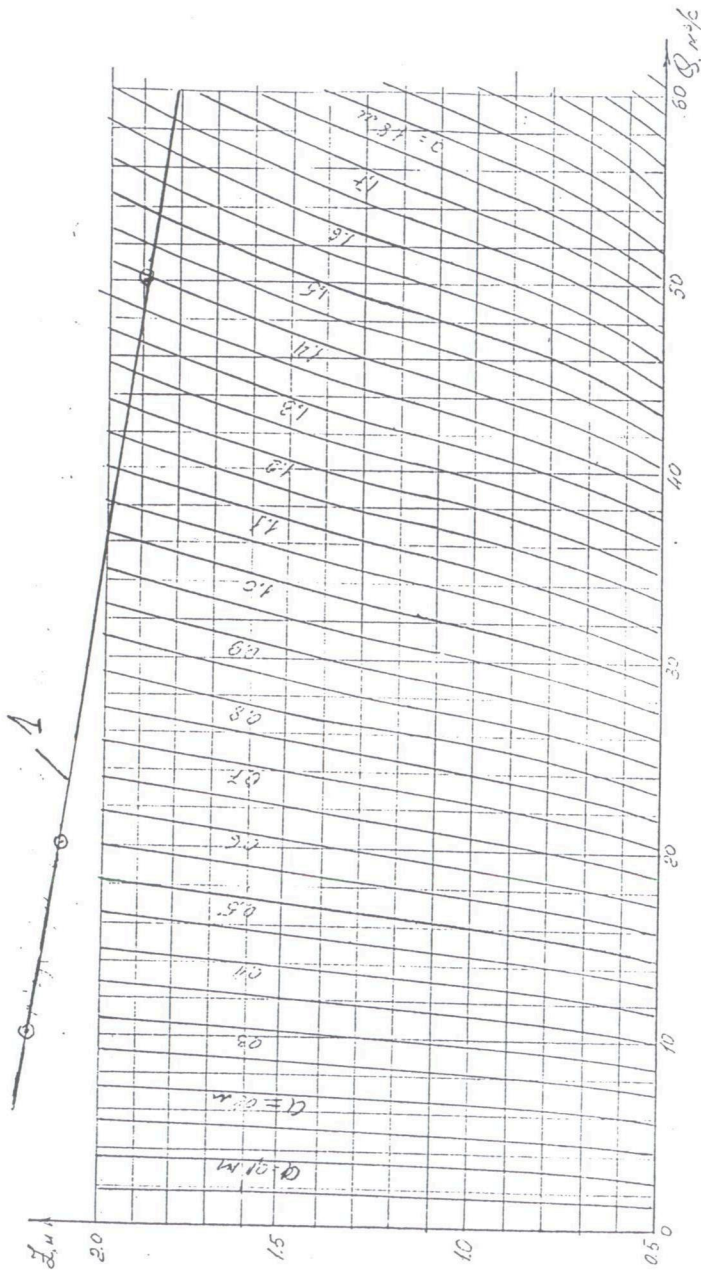


Рис. 6.3. Гелосисе соотншения между k и c_v (новое) по формуле $c_v = f(a, k)$ для одного отрезка I - Расчет по предложенному уравнению $k = 2,2e-0,0076a$

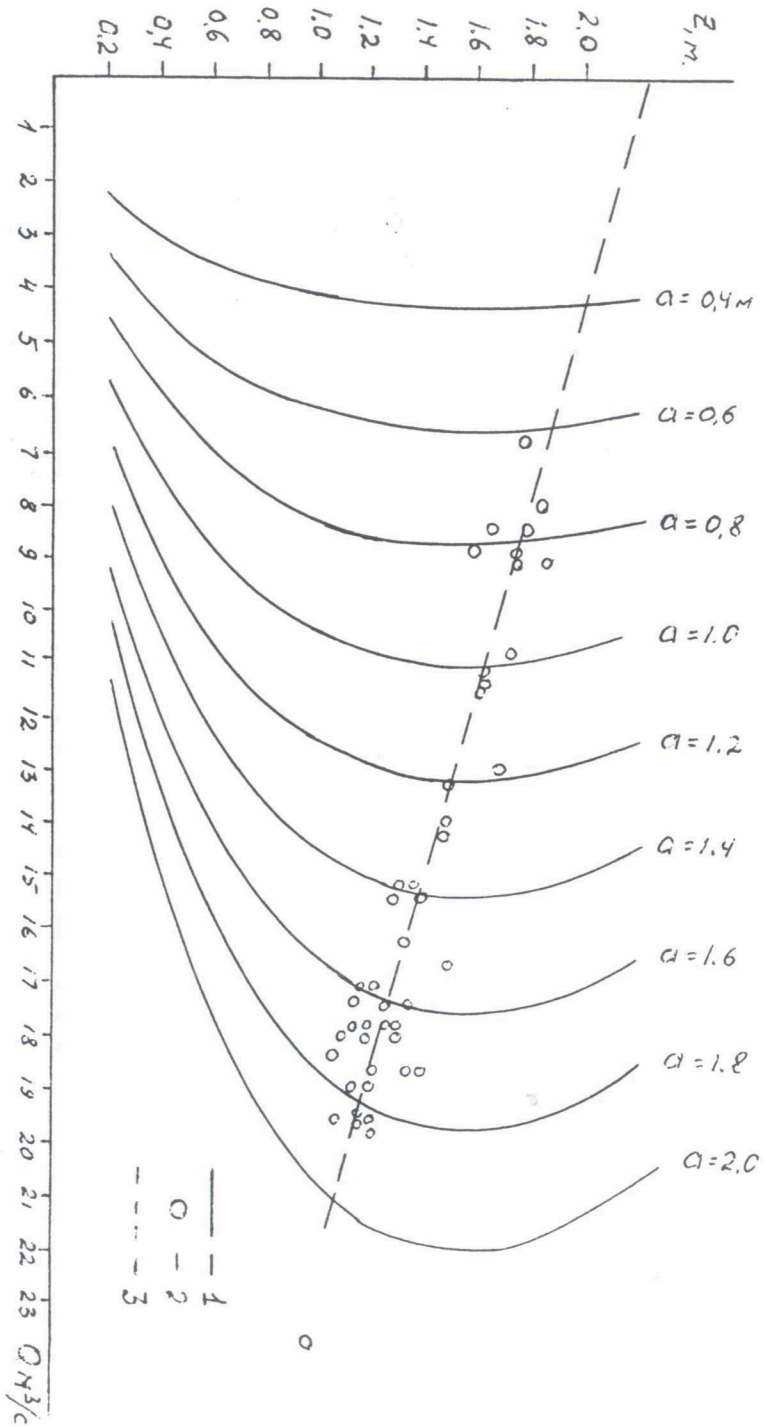


Рис. 6.8.2. График $Q = f(a, z)$ для определения пропускной способности скважины в грунте
I - расчет по существующей методике; 2 - натурные данные СНДЛРП;
3 - расчет по предлагаемому расчету $z = f(Q)$

За пределами этой зоны номограмма $Q = f(a, z)$ не соответствует реальной пропускной способности. Так, например, на рис. 8.1 по фактическим данным расход воды 5 м³/с можно пропустить в канале в створе гидропоста только при $z = 2,0$ м и при открытии затворов на величину $a = 0,48$ м. С увеличением расхода воды уровень воды в канале повысится, а перепад уровней уменьшится, повысится величина открытия затворов. Например, при расходе воды 14 м³/с перепад уровней по фактическим данным составит $z = 1,0$ м при открытии затворов $a = 1,6$ м. При расходе воды 20 м³/с перепад уровней составит 0,5 м. Следовательно, чем больше расход воды, тем меньше перепад уровней и больше открытие затворов.

Для каждого гидропоста существует свой закон изменения $z = f(Q)$, где каждому расходу соответствует только одно значение перепада уровней.

В этом состоит характерная особенность гидропостов, которая не учитывается существующей методикой градуировки по номограммам.

9. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГРАДУИРОВКИ И СОСТАВЛЕНИЕ ГРАДУИРОВОЧ- НЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

9.1. Открытые регуляторы с затопленным режимом истечения из-под щита

Коэффициенты расхода определяются из формулы (6.1) для измеренных в натуральных условиях b, a, z при различных расходах воды Q . Затем строится график типа $\mu = f(a | H)$ или $\mu = f(z)$.

В существующей методике рекомендуется зависимость $\mu = f(a | H)$, которая заменяет одно неизвестное на другое, что исключает возможность получить таблицу координат в виде $a = f(Q)$.

По существующей методике в уравнении (6.1), после отыскания μ остается два неизвестных — a и z . Градуировочная характеристика представляется в виде номограммы $Q = f(a, z)$, что приводит к грубым несоответствиям рассчитанного расхода с фактическим при проведении поверочной градуировки, так как в существующем способе градуировки не учитывается характерная особенность гидропостов, заключающаяся в том, что каждому расходу воды строго соответствует одна кривая $h = f(Q)$, которая создает, при постоянной отметке в верхнем бьефе ГТС, строгий закон изменения $z = f(Q)$. Поэтому задаваться величиной z нельзя.

Для определения коэффициента расхода используются различные типы формул вида $\mu = f(z)$. В отделе АСУ НПО САНИИРИ имеются программы для определения расчетных зависимостей в виде прямой, параболы, экспоненты, полинома второй степени.

Нами, по данным натурных исследований, предлагаются связи в виде

$$\mu = \mu_{\max} - A z \quad (9.1)$$

$$\mu = \mu_{\max} - A_1 z^x \quad (9.2)$$

которые, для удобства определения параметров, следует представить в виде

$$\mu_{\max} - \mu = A z \quad (9.3)$$

$$\mu_{\max} - \mu = A_1 z^x \quad (9.4)$$

Параметры и показатель степени уравнений (9.3) и (9.4) определяются методом наименьших квадратов. Для определения характера изменения перепада уровней от расхода воды нами предлагаются формулы вида

$$z = A - k Q \quad (9.5)$$

$$z = A_1 - k_1 Q^x \quad (9.6)$$

которые приводятся к виду

$$A - z = k Q \quad (9.7)$$

$$A_1 - z = k_1 Q^x \quad (9.8)$$

Для каналов Казалинского гидроузла, по данным натурных исследований НПО САНИИРИ, были получены формулы следующего вида:

$$\text{Канал ПМК} \quad z = 2,16 - 0,058 Q \quad (9.9)$$

$$\mu = 0,75 - 0,3 z \quad (9.10)$$

$$\text{Канал ЛМК} \quad z = 2,24 - 0,019 Q \quad (9.11)$$

$$\mu = 1 - 0,217 z \quad (9.12)$$

$$\text{Канал «Рыбхоз»} \quad z = 3,5 - 0,514 Q^{0,48} \quad (9.13)$$

$$\mu = 1 - 0,327 z^{0,387} \quad (9.14)$$

Совместное решение уравнения (6.1) и рекомендуемых зависимостей $\mu = f(Q)$ и $z = f(Q)$ позволяет получить градуировочную характеристику в виде

$$a = \frac{Q}{f(z) b n \sqrt{2g} \sqrt{f(Q)}} \quad (9.15)$$

с помощью которой можно составить таблицу координат. В частности, для сооружений Казалинского гидроузла получены градуировочные характеристики следующего вида:

Канал ПМК

$$a = \frac{Q_k}{b n (0,75 - 0,3 z) \sqrt{2g} \sqrt{2,16 - 0,058 Q}} \quad (9.16)$$

$$z = 2,16 - 0,058 Q \quad (9.17)$$

Таблица координат по (9.16) и (9.17) приведена в приложении 1.

Канал ЛМК

$$a = \frac{Q_k}{b n (1 - 0,217 z) \sqrt{2g} \sqrt{2,24 - 0,019 Q}} \quad (9.18)$$

$$z = 2,24 - 0,019 Q \quad (9.19)$$

Таблица координат по выражениям (9.18) и (9.19) приведена в приложении 2.

Канал «Рыбхоз»

$$a = \frac{Q_k}{b n (1 - 0,327 z^{0,387}) \sqrt{2g} \sqrt{3,5 - 0,514 Q^{0,48}}} \quad (9.20)$$

$$z = 3,5 - 0,514 Q^{0,48} \quad (9.21)$$

Таблица координат по (9.20) и (9.21) приведена в приложении 3.

Для канала Дустлик

$$a = \frac{Q_k}{b n (0,94 - 0,197 z) \sqrt{2g} \sqrt{2,28 - 0,0076 Q}} \quad (9.22)$$

$$z = 2,28 - 0,007 Q \quad (9.23)$$

Таблица координат по формулам (9.22) и (9.23) приведена в приложении 4.

10. НЕОБХОДИМЫЕ ЗАВИСИМОСТИ И ИЗМЕРЯЕМЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГРАДУИРОВКИ ГТС

В зависимости от режима сопряжения бьефов и типа сооружений предлагаются расчетные формулы и градуировочные характеристики, которые приведены в таблице 10.1.

Таблица 10.1

NN пп	Тип сооружения и режим истечения	Измеряемые параметры, формулы пропускной способности, коэффициента расхода, перепада уровней	Метод измерения, кол-во и диапазон измерений, градуировочные характеристики
1	2	3	4
	Регулируемые ГТС А. Затопленный режим истечения		
1	Открытые регуляторы с затопленным истечением из-под затвора $H \equiv \text{const}^*$ Условие затопления $h > a, h^n < h_n$	Перепад уровней как разность уровней верхнего и нижнего бьефов или разности глубин $H-h_n$ при одинаковой отметке порога-сооружения и дна канала; высота открытия затвора «а», ширина отверстия «в», пропускная способность определяется по формуле: $\overline{Q} = \mu b n a \sqrt{2g} \sqrt{z} \quad (1)$ $\mu = \mu_{\max} - A z \quad (2)$ $\mu = \mu_{\max} - A_1 z^x \quad (3)$ $z = k - A_2 Q \quad (4)$ $z = k_1 - A_3 Q^x \quad (5)$	Гидравлический; кол-во измерений не менее 10, охватывающих весь диапазон расходов канала, в пределах $a/a_{\max}$ или $z/z_{\max} = 0,1-0,85$. Градуировочные характеристики: Q 1) $a = \dots \dots \dots (6)$ $f(z) b n \sqrt{2g} \sqrt{f(Q)}$ 2) $z = f(Q)$ 3) Таблицы координат
2	Трубчатые регуляторы с прямоугольным входным отверстием и затопленным	Пропускная способность определяется по формуле (1). Коэффициент расхода – по выражению (2), (3), а также по выражению $\mu = f(a/H) \quad (7)$	Гидравлический, градуировочная характеристика по выражению (6) с определением $z = f(Q)$ и составлением таблиц

NN пп	Тип сооружения и режим истечения	Измеряемые параметры, формулы пропускной способности, коэффициента расхода, перепада уровней	Метод измерения, кол-во и диапазон измерений, градуировочные характеристики
1	2	3	4
3	режимом истечения ($H = \text{const}$) Условие затопления $h_n > a, h^n < h_n$ Трубчатые регуляторы-водоупуски из водохранилищ с прямоугольным входным отверстием и затопленным режимом истечения ($H \neq \text{const}$). Условие затопления $h_n > a$ $h^n < h_n$	Пропускная способность определяется по выражению $Q = \mu b n a \sqrt{2g} \sqrt{H-h_n} \quad (8)$ Коэффициент расхода по выражению (7) или $\mu = f(H-h_n)$. Глубина наполнения в канале $h_n = f(Q) \quad (9)$	координат Гидравлический. Градуировочные характеристики в виде: а) при $\mu = f(a/H)$ номограмма $Q = f(a, H)$ б) при $\mu = f(H-h_n)$ Q $A = \dots \dots \dots (10)$ $f(H-h_n) b n \sqrt{2g} \sqrt{H-h_n}$ где $h_n = f(Q)$ Составляется номограмма $a = f(Q, H)$
4	Трубчатые регуляторы с круглым входным отверстием и затопленным режимом истечения ($H = \text{const}$). Условие затопления $h_n > a, h_n^n < h_n$	Пропускная способность определяется по формуле $Q = \mu \omega_n \sqrt{2g} \sqrt{z} \quad (10)$ Площадь истечения определяется по формуле $\omega_n = (1,8/R - 0,25) R^2 \quad (11)$ Измеряются Q, a, z , вычисляется μ . Определяются формулы $\mu = f(z)$ и $z = f(Q)$	Градуировочная характеристика $Q = F/f(Q) / \omega_n \sqrt{2g} \sqrt{f} \quad (12)$ Составление таблиц координат (10)

NN пп	Тип сооружения и режим истечения	Измеряемые параметры, формулы пропускной способности, коэффициента расхода, перепада уровней	Метод измерения, кол-во и диапазон измерений, градуировочные характеристики
1	2	3	4
5	Нерегулируемые ГТС при затопленном режиме сопряжения бьефов Водослив с широким порогом. Условие затопления $h_n / H > 0,7$	Расход воды определяется По формуле $Q = \varphi_n b h_n \sqrt{2g \sqrt{H-h_n}}$ Определяются Q, b, h_n , H ($h_n = h_n - P$) Вычисляется φ_n и строится табл. $\varphi_n = f(h_n / H)$	Градуировочная характеристика в виде (13)
6	Трубчатые ГТС при затопленном режиме: а) с прямоугольным входным отверстием б) с круглым входным отверстием	Расход воды определяется по формулам: $Q = \mu b n h \sqrt{2g \sqrt{z}}$ (14) $Q = \mu \omega_n \sqrt{2g \sqrt{z}}$ (15) Измеряются величины b, h, z, Q и ω , z, Q. Вычисляют μ и строят график $\mu = f(z)$	Градуировочные характеристики в виде (14) и (15)
7	Б. Свободный режим истечения	Пропускная способность определяется по формуле	Градуировочная

NN пп	Тип сооружения и режим истечения	Измеряемые параметры, формулы пропускной способности, коэффициента расхода, перепада уровней	Метод измерения, кол-во и диапазон измерений, градуировочные характеристики
1	2	3	4
8	Регулируемые ГТС Открытые регуляторы ($H = \text{const}$) Трубчатые регуляторы с прямоугольным входным отверстием и свободным истечением ($H = \text{const}$). Условие свободного истечения $h_c < a$ $h^n > h_n$	$Q = \mu b n a \sqrt{2g \sqrt{H-a \epsilon_0}}$ (16) Измеряются Q, b, a, H и рассчитывается μ . $\mu = Q / b n a \sqrt{2g \sqrt{H-a \epsilon_0}}$ Строится график $\mu = f(a/H)$ Пропускная способность определяется по формуле (17) $Q = \mu b a n \sqrt{2g \sqrt{H-0,64 a}}$ Измеряются Q, b, a, H, определяется $\mu = Q / b n a \sqrt{2g \sqrt{H-0,64 a}}$ Строится график $\mu = f(a/H)$	характеристика в виде (16) и таблица координат в виде $Q = f(a)$ Градуировочная характеристика в виде (17) с учетом $\mu = f(a/H)$, а также таблица координат в виде $Q = f(a)$
9	Трубчатые регуляторы-водовыпуски из водохранилищ с прямоугольным входным отверстием ($H \neq \text{const}$) Условие свободного истечения $h_c < a$	Пропускная способность определяется по выражению (17); измеряются Q, b, a, H и определяется коэффициент расхода, строится график $\mu = f(a/H)$	Градуировочная характеристика в виде (17) с учетом $\mu = f(a/H)$. Но так как $H \neq \text{const}$, то строится номограмма в виде $Q = f(a, H)$
10	Трубчатые регуляторы с	Пропускная способность определяется по формуле	Градуировочная характеристика в виде

NN пп	Тип сооружения и режим истечения	Измеряемые параметры, формулы пропускной способности, коэффициента расхода, перепада уровней	Метод измерения, кол-во и диапазон измерений, градуировочные характеристики
1	2	3	4
11	круглым входным отверстием $H = \text{const}$. Условие свободного истечения $h_c < a$	$Q = \mu \omega_n \sqrt{2g} \sqrt{H-0,7 a} \quad (18)$ $1,8a$ $\omega_n = \left(\frac{a}{R} - 0,25 \right) R^2 \quad (19)$ R При $a \geq 2 R$ $\omega_n = \pi R^2$. Измеряются Q, a, H . Рассчитываются ω_n и μ . $\mu = Q / \omega_n \sqrt{2g} \sqrt{H-0,7 a}$ Строится график $\mu = f(a/H)$	(18) с учетом (19). И при $H = \text{const}$ рассчитывается таблица координат $Q = f(a)$
	Нерегулируемые ГТС Водослив с широким порогом. Условие свободного сопряжения бьефов $h_{\text{вн}} < 0,7$	Расход воды определяется по формуле $Q = \epsilon m b n \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (20)$ $\epsilon = 0,85-0,95$ — коэффициент бокового сжатия $m = 0,385 \varphi$ φ — коэффициент скорости; при отсутствии закругления $\varphi = 0,85$; при наличии закругления $\varphi = 0,92$. В процессе градуировки измеряют Q, b, H и из (20) определяют $\epsilon m = m_1$	Градуировочная характеристика в виде (20)

NN пп	Тип сооружения и режим истечения	Измеряемые параметры, формулы пропускной способности, коэффициента расхода, перепада уровней	Метод измерения, кол-во и диапазон измерений, градуировочные характеристики
1	2	3	4
12	Безнапорная нерегулируемая труба круглого сечения $H = \text{const}$. Условие свободного истечения - $h_c < h$; $h'' > h_n$	Формула расхода воды $Q = \mu b n h \sqrt{2g} \sqrt{H-0,64 h} \quad (21)$ В процессе градуировки измеряют Q, H , определяют μ	Градуировочная характеристика в виде (21)
13	Безнапорная нерегулируемая труба круглого сечения $H = \text{const}$. Условие свободного истечения - $h_c < D$; $h'' > h_n$	Формула расхода воды $Q = \mu \omega_n \sqrt{2g} \sqrt{H-0,7 D} \quad (22)$ $\omega_n = \pi R^2$ При градуировке измеряют Q, H ; определяют μ .	Градуировочная характеристика в виде (22)

Примечание: * Изменение уровня воды перед водопроводящими сооружениями, как показал анализ натурных данных, не превосходит 5 % от общего напора. Такие сооружения отнесены к объектам с постоянным напором ($H \approx \text{const}$). Учет колебания уровня воды перед сооружением производится путем принятия в расчет перепада уровней

11. СОПОСТАВЛЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ГТС ПО ПРЕДЛАГАЕМОЙ МЕТОДИКЕ ГРАДУИРОВКИ С ФАКТИЧЕСКИМИ ДАННЫМИ

На рис. 11.1, 11.2, 11.3 и 11.4 приведены графики $a = f(Q)$ для регуляторов каналов ПМК, ЛМК и «Рыбхоз» Казалинского гидроузла и Головного сооружения канала Дустлик, которые построены по градуировочным уравнениям (9.16), (9.18), (9.20) и (9.22). На эти же графики нанесены данные натурных измерений пропускной способности в зависимости от числа одновременно открытых отверстий регуляторов, указанных выше каналов. Как видно из представленных рисунков результаты расчета по предлагаемой методике градуировки хорошо совпадают с натурными данными.

12. ДОПУСТИМЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГРАДУИРОВОК ГТС

12.1. Средняя квадратическая относительная погрешность определения градуировочной характеристики в виде

$$Q = \mu b a \sqrt{2g} \sqrt{z}$$

Определяется по выражению: $\sigma_{гр.х} = \sqrt{\sigma_{\mu}^2 + \sigma_b^2 + \sigma_a^2 + 1/4 \sigma_n^2}$ (12.1)

где σ_{μ} - средняя квадратическая относительная погрешность определения коэффициента расхода; по данным опыта принимается $\sigma_{\mu} = \pm 2\%$;

σ_b - средняя квадратическая относительная погрешность измерения ширины отверстия, принимается равной $\sigma_b = 1,0\%$;

σ_a - средняя квадратическая относительная погрешность измерения открытия затвора, которая принимается равной $\sigma_a = 1,0\%$;

σ_n - средняя квадратическая относительная погрешность измерения уровня воды; принимается равной $\sigma_n = 2\%$.

Подставляя значения частных погрешностей в формулу (12.1), получим

$$\sigma_{гр.х} = \sqrt{2^2 + 1^2 + 1^2 + 1/4 \cdot 2^2} = 2,6\%$$

12.2. Средняя квадратическая относительная погрешность измерения расхода воды образцовым средством (гидрометрический створ, метод «скорость-площадь»)

$$\sigma_{Qобр} = \sqrt{\sigma_m^2 - 1/m (\sum \sigma_v^2 + \sum \sigma_b^2 + \sum \sigma_h^2)} \quad (12.2)$$

где σ_m - погрешность метода, $\sigma_m = 1,2$;

$\sum \sigma_v = 12,15$ - сумма погрешностей определения средней скорости между вертикалями;

$\sum \sigma_b^2 = 1,10$ - сумма погрешностей определения габаритов стоков;

$\sum \sigma_h^2 = 6,05$ - сумма погрешностей определения средней глубины стоков;

m - число вертикалей, принимается $m = 9$.

Подставляя приведенные значения частных погрешностей в формулу (12.2), получим

$$\sigma_{Qобр} = \sqrt{1,2^2 + 1/9 (12,15 + 1,10 + 6,05)} = 1,9\%$$

12.3. Средняя квадратическая относительная погрешность определения расхода воды

$$\sigma_{Qобр} = \sqrt{\sigma_{Qобр}^2 + \sigma_{гр.х}^2 + \sigma_a^2 + \sigma_z^2} \quad (12.3)$$

где σ_z - средняя квадратическая погрешность определения перепада уровней $\sigma_z = 1,0$.

Предел допустимой погрешности при вероятности $P = 0,95$ составит

$$\sigma_Q = 2 \sigma_{Qобр} \quad (12.4)$$

После подстановки частных погрешностей в (12.3), получим

$$\sigma_Q = \sqrt{1,9^2 + 2,6^2 + 1^2 + 1^2} = 3,5\%$$

Предел допустимой относительной погрешности при вероятности $P = 0,95$ составит $\sigma = 7\%$.

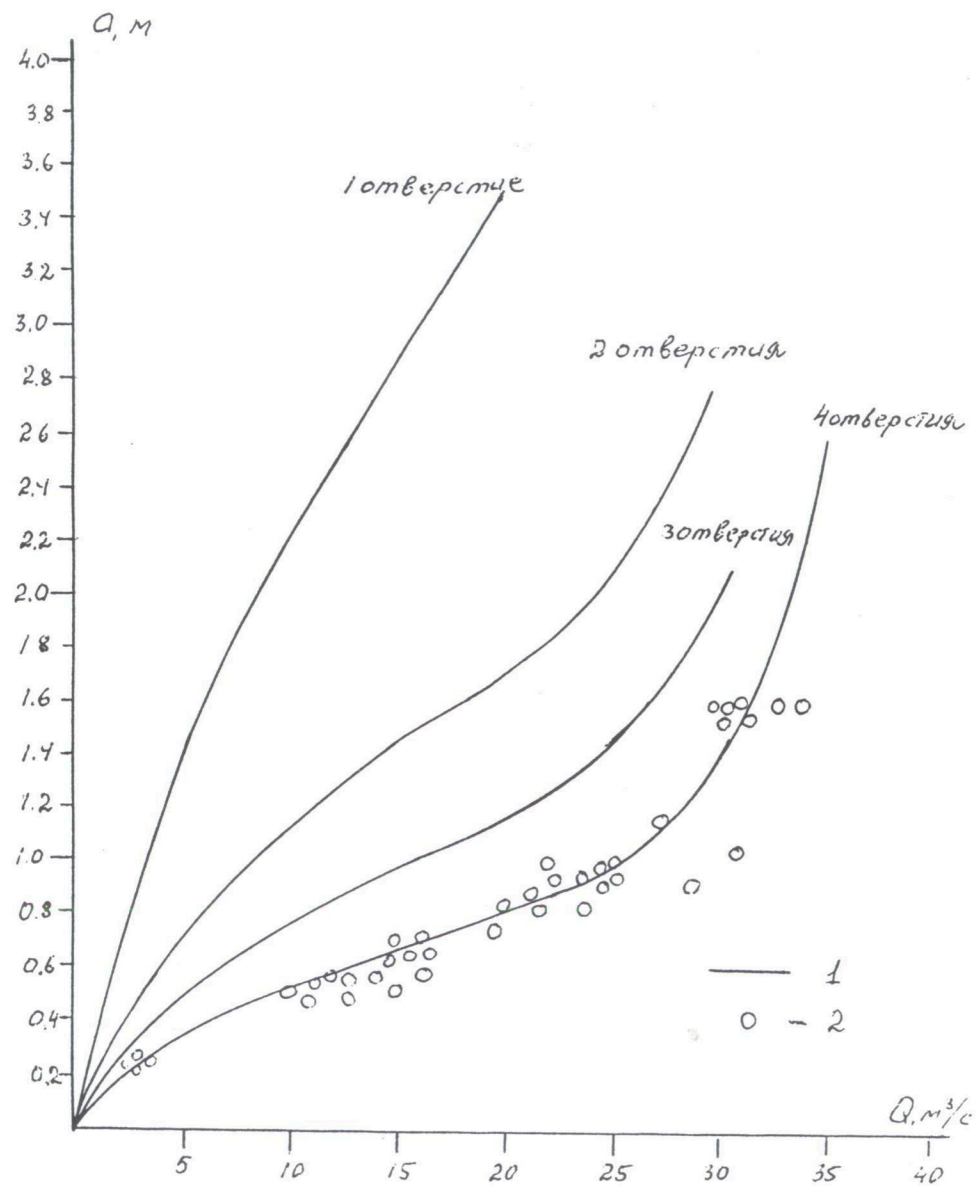


Рис. II.1. График $a = f(Q, n)$ ЛМК Казанского гидроузла
1 - расчет по предлагаемому методу градуировки водопроводящих сооружений для различных сочетаний одновременно открытых отверстий;
2 - натурные данные САННПР за 1972 г.

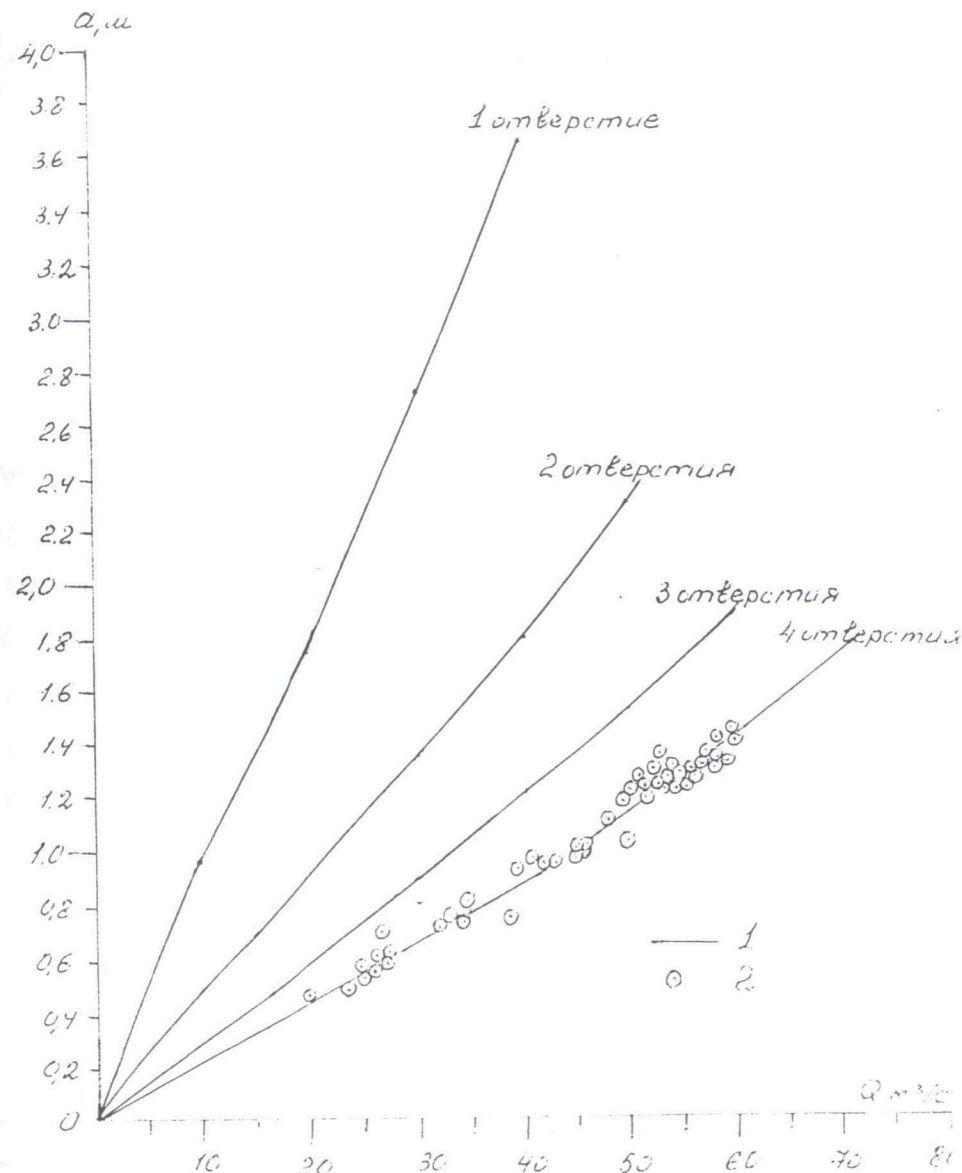


Рис. II.2. График $a = f(Q, n)$ ЛМК Казанского гидроузла
1 - расчет по предлагаемому методу градуировки водопроводящих сооружений для различного сочетания одновременно открытых отверстий;
2 - натурные данные САННПР за 1979 г.

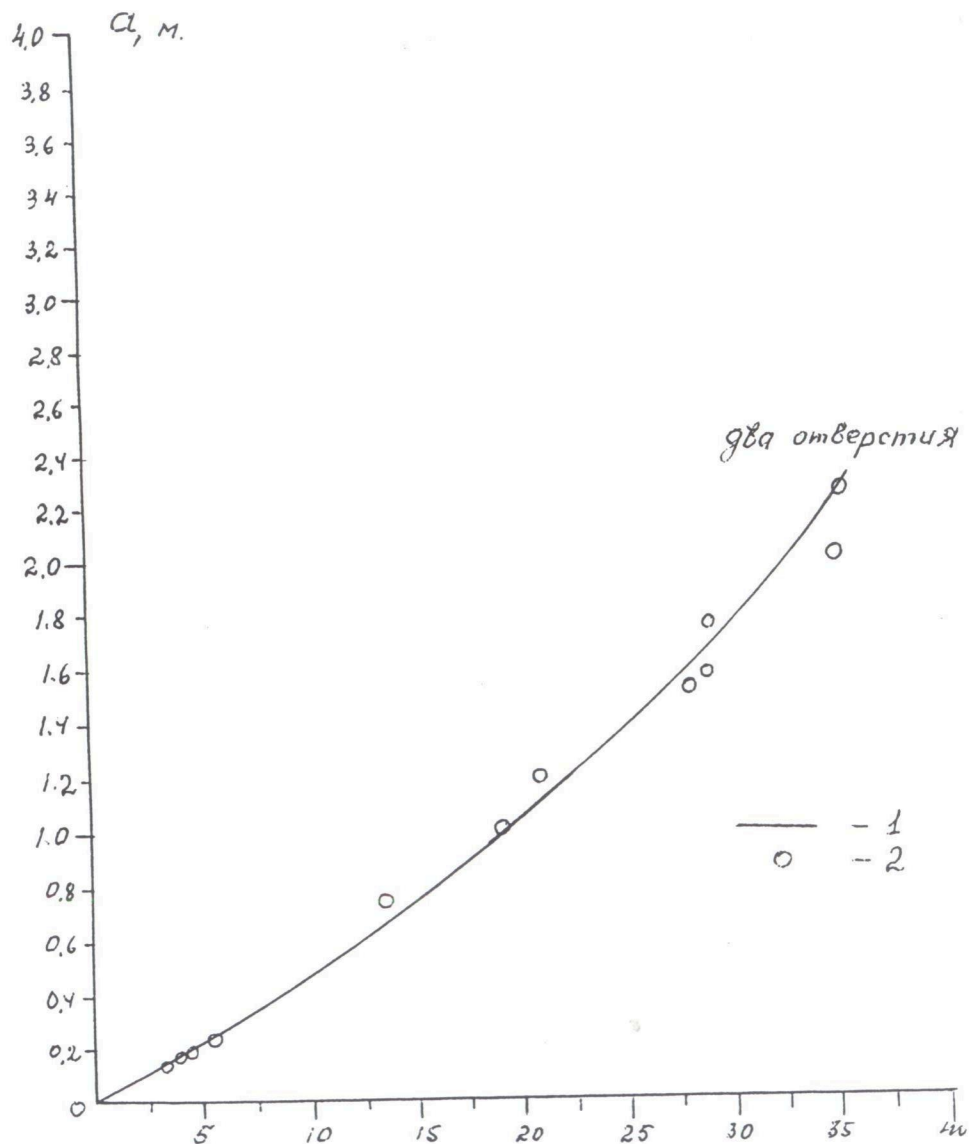


Рис. II.3. График $a = f(Q, n)$ канала "Рибхоз" Казанского гидроузла

- 1 - расчет по предлагаемому методу градуировки для 2-х одновременно открытых отверстий;
2 - натурные данные СНИИРИ за 1972 г.

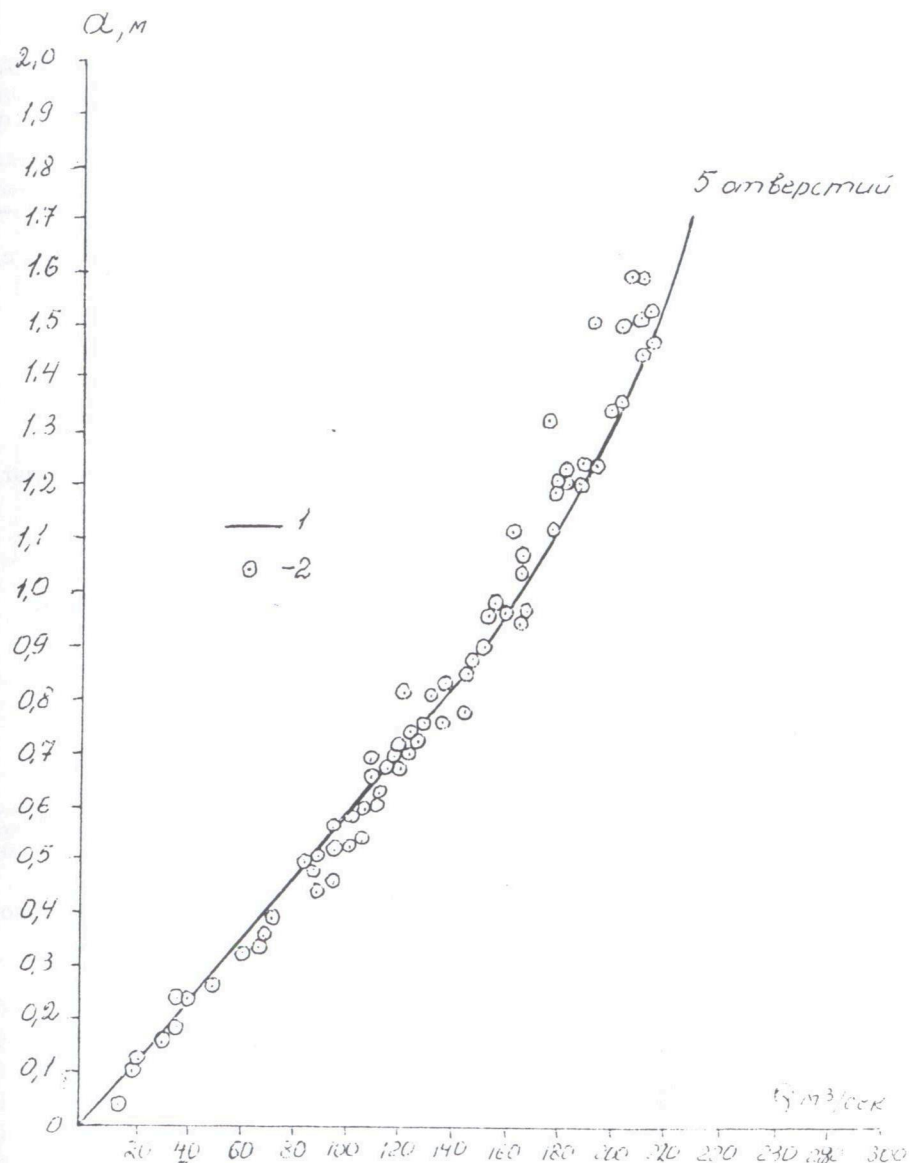


Рис. II.4. График $a = f(Q, n)$ головного сооружения канала им. Кирова

- 1 - расчет по предлагаемому методу градуировки для 5 одновременно открытых отверстий;
2 - натурные данные службы эксплуатации

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Р.Р. Чугаев. Гидравлика. Л., Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1982, 672 с.
2. М.Д. Чертоусов. Гидравлика « Специальный выпуск », Гидроэнергоиздат, М-Л., 1957, 640 с.
3. Карасев И.Ф. Речная гидрометрия и учет водных ресурсов. Л., Гидрометеиздат, 1980, 310 с.
4. Бутырин М.В. и др. Водомерные устройства для гидромелиоративных систем. Москва, Колос», 1982, 144 с.
5. Бутырин М.В., Сельников М.П. Методика выполнения измерений по градуировке гидротехнических сооружений на каналах оросительных систем. МВИ 33БО-01-85, Ташкент, 1986, 64 с.
6. Методические указания М.И. 1759-87 « Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость – площадь», Москва, изд-во стандартов, 1987, 26 с.
7. Методические рекомендации по оценке точности измерений и учета стока на входных и выходных створах русловых водохранилищ Средней Азии. Ташкент, 1997 г., САНИГМИ (составители Никулин А.С., Комарова В.Р.).

Приложение 1

Градуировочная характеристика в табличной форме (таблица координат)
Зависимость открытия 4-х затворов $a = f(Q)$

СИР – водопроводящее сооружение ПМК Казалинского гидроузла

Градуировочное уравнение $a = Q / b \cdot n (0,75-0,3 z) \sqrt{2 g} \sqrt{2,16-0,058 Q}$
Затопленный режим сопряжения бьефов $z = 2,16-0,058 Q$

	Расход воды, м ³ /с									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Открытие 4-х затворов, м									
-	-	0,1088	0,1926	0,2599	0,3162	0,3644	0,4065	0,4447	0,4796	0,5122
10	0,5431	0,5723	0,6012	0,6292	0,6569	0,6855	0,7139	0,7430	0,7728	0,8044
20	0,8368	0,8720	0,9087	0,9496	0,9925	1,0407	1,0938	1,1543	1,2221	1,3022
30	1,396	1,5136	1,6597	1,8560	2,1316	2,5754				

Приложение 2

Градуировочная характеристика в табличной форме (таблица координат)
Зависимость открытия 4-х затворов $a = f(Q)$

СИР – водопроводящее сооружение ЛМК Казалинского гидроузла

Градуировочное уравнение $a = Q / b \cdot n (1-0,217 z) \sqrt{2 g} \sqrt{2,24-0,019 Q}$
Затопленный режим сопряжения бьефов

Расход воды, м ³ /с	Расход воды, м ³ /с									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Открытие 4-х затворов, м									
10	-	0,024	0,048	0,072	0,096	0,120	0,143	0,167	0,190	0,213
20	0,236	0,259	0,282	0,305	0,328	0,350	0,373	0,395	0,417	0,440
30	0,462	0,485	0,507	0,529	0,552	0,574	0,595	0,617	0,640	0,662
40	0,685	0,707	0,730	0,752	0,774	0,797	0,819	0,842	0,865	0,888
50	0,911	0,935	0,957	0,981	1,005	1,029	1,053	1,077	1,101	1,126
60	1,143	1,174	1,200	1,226	1,252	1,278	1,305	1,332	1,358	1,386
70	1,414	1,442	1,471	1,500	1,531	1,561	1,591	1,621	1,654	1,687

Приложение 3

Градуировочная характеристика в табличной форме (таблица координат)

Зависимость открытия 2-х затворов $a = f(Q)$

СИР – водопроводящее сооружение «Рыбхоз Казалинского гидроузла

$$\text{Градуировочное уравнение } a = Q / b_n (1 - 0,327 z^{0,387}) \sqrt{2g} \sqrt{3,5 - 0,514 Q^{0,48}}$$

$$z = 3,5 - 0,514 Q^{0,48}$$

Расход воды, м³/с	Расход воды, м³ / с									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Открытие 2-х затворов, м									
10	-									
20	0,467	0,043	0,087	0,132	0,178	0,224	0,271	0,319	0,367	0,417
30	1,027	0,518	0,570	0,623	0,677	0,732	0,788	0,846	0,904	0,965
	1,753	1,090	1,154	1,221	1,290	1,361	1,434	1,509	1,587	1,669
		1,841	1,933	2,029	2,130	2,237				

Приложение 4

Градуировочная характеристика в табличной форме (таблица координат)

Зависимость открытия 5 затворов $a = f(Q)$

СИР – водопроводяще сооружение канала Дуслик

Градуировочное уравнение $a = Q / b \ln (0,94 - 0,197 z) \sqrt{2g} \sqrt{2,28 - 0,0076 Q}$;
 $z = 2,28 - 0,0076 Q$

Затопленный режим сопряжения бьефов

[illegible]