

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

# ПЕРЕЧЕНЬ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СИМВОЛОВ, ЕДИНИЦ И ТЕРМИНОВ

|               |                                                                                                         |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\mu$         | - 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,<br>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 ;                                                                   |
| $\varphi$     | - коэффициент скорости, учитывающий потери напора ;                                                     |
| $\omega_c$    | - площадь струи в сжатом сечении, м ;                                                                   |
| $\omega$      | - площадь открытия щита, м <sup>2</sup> ;                                                               |
| $\omega_{и}$  | - площадь истечения ;                                                                                   |
| $\varepsilon$ | - коэффициент сжатия струи ;                                                                            |
| $Q_k$         | - расход воды в канале, м <sup>3</sup> /с ;                                                             |
| $Q_p$         | - расчетный расход воды через сооружение без учета сжатия<br>струи и потерь напора, м <sup>3</sup> /с ; |
| $Q_c$         | - расчетный расход воды через сооружение, м <sup>3</sup> /с ;                                           |
| $\mu_p$       | - 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 —  $\mu$ ,  $a$ ,  $z$ . При проведении градуировки измеряются  $Q$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $z$  и из основного уравнения определяются значения  $\mu$ . 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 гидropостом), проградуированные в натуре и позволяющие оперативно определять расход воды.

1.2. Участок канала для гидropоста принимается прямолинейным, оборудованным уклонным водопостом 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. Гидropост 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  $\pm 3$  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, колодезю 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 тросе, 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 отогнутым 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  $\mu$  – коэффициент расхода;  
 $a$  – открытие щита;  
 $b$  – 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  $\mu$  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  $\mu_1, \mu_2, \mu_n$  - 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;

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

$\alpha V^2$

$H_0$  - 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;

$\epsilon_0$  - 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

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

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

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

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

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

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

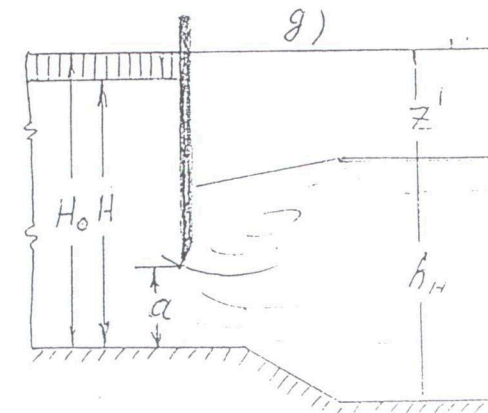
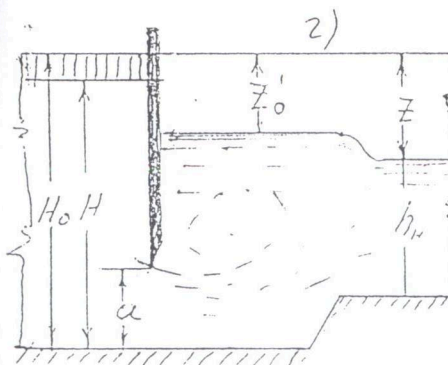
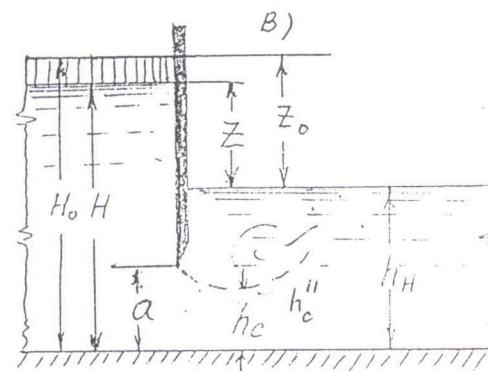
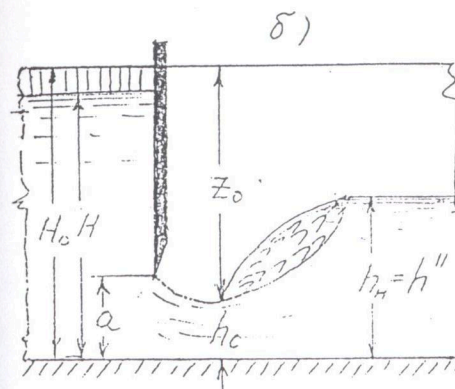
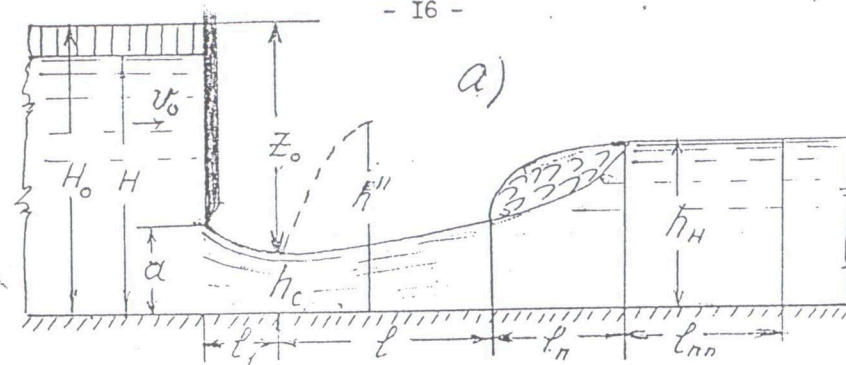


Рис. 6.1. Схемы сжатия бьефа для открытого регулятора

- а) с острым краем затвора;
- б) с тупым краем затвора;
- в) с затопленным краем;
- г) с затопленным краем; для расчета вент. для сооружений;
- д) с затопленным краем; для расчета вент. для сооружений.



## 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  $\mu$

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

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

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  $\mu$  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:

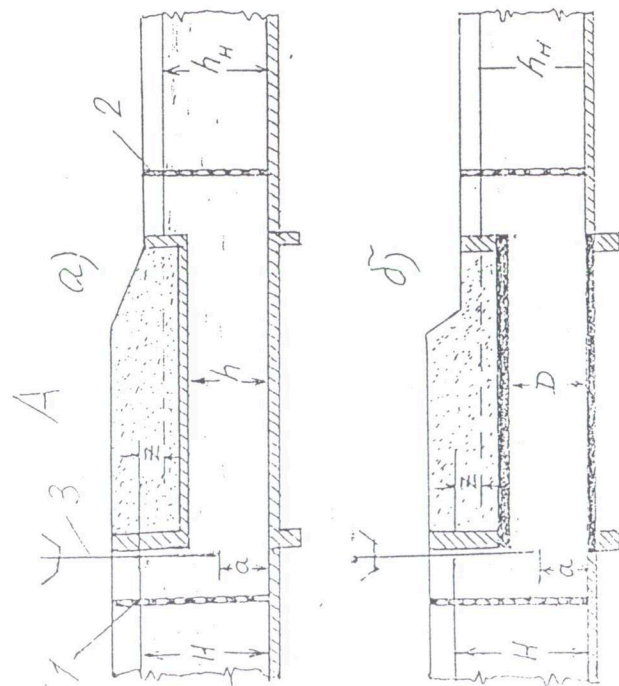
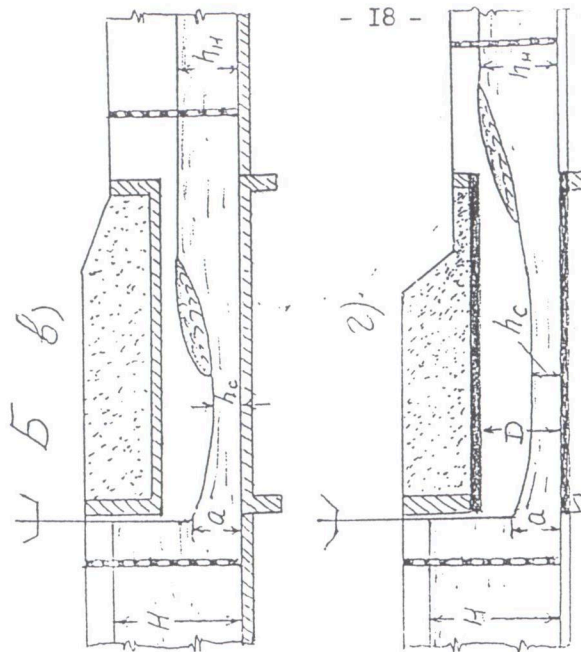


Рис. 6.2. Схемы сопряжения бьефов для трубчатых регуляторов

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  $\mu$ , 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  $\mu$  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

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



где  $\omega_n$  - площадь истечения, рассчитывается по выражению В. М. Бутырина

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

при  $a = 2 R$ ;  $\omega_n = \pi R^2$

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  $a$ . 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  $\omega_n$  - 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  $\varphi_n$  - 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  $\varphi_n$  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 |
| $\varphi_n$ | 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 |  |
| $\varphi_n$ | 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  $\varphi_n$  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  $\varepsilon$  - 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  $\varphi$  - 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

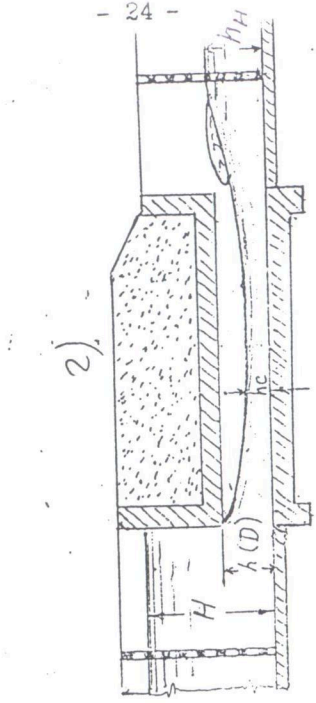
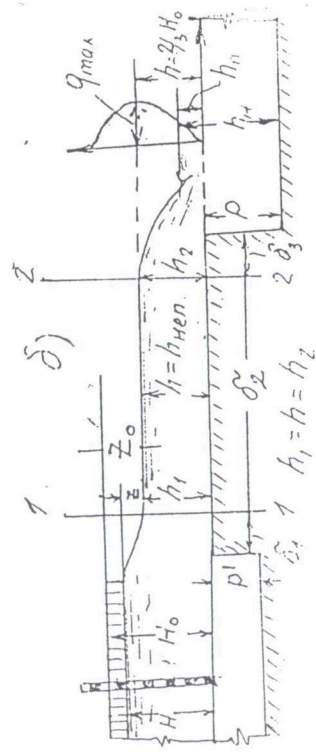
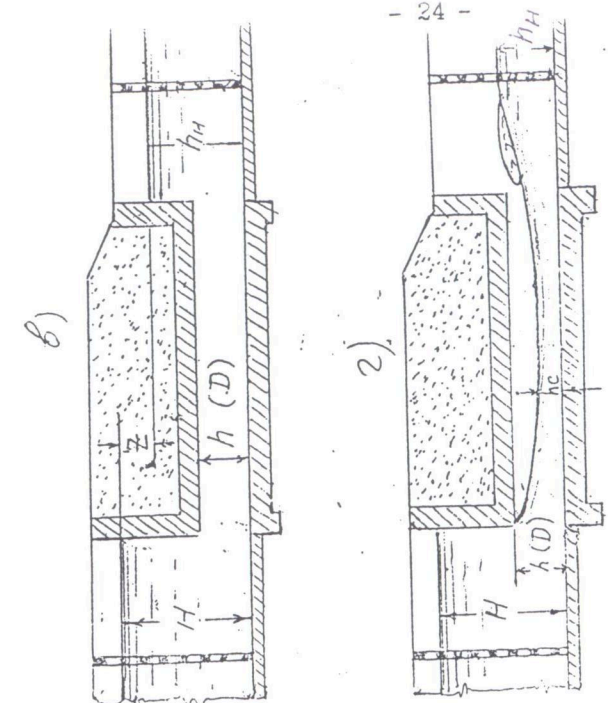
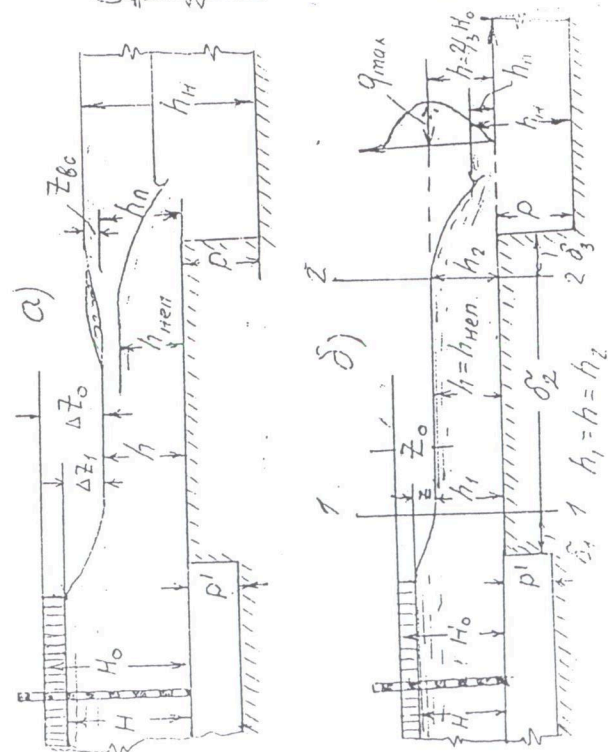


Рис. 6.3. Нерегулируемые водопороговые сооружения  
а) подтопленный водослив с широким порогом  
б) незатопленный водослив с широким порогом  
в) затопленный водослив с широким порогом  
г) безпороговая труба прямоугольного сечения



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

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  $\omega$ ,  $z$ ,  $Q$  определяют коэффициент расхода  $\mu$  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:

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

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

В процессе градуировки измеряются  $Q$ ,  $H$  и определяется коэффициент расхода  $\mu = f(h|H)$  и  $\mu = f(D|H)$ . Градуировочные характеристики, после определения  $\mu$ , 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  $\sigma$  - 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 -  $\mu$ ,  $a$ ,  $z$  при искомом  $Q$ .

По существующей методике градуировки при замеренных  $Q$ ,  $b$ ,  $a$ ,  $z$  определяются значения  $\mu$  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 постоянное 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.

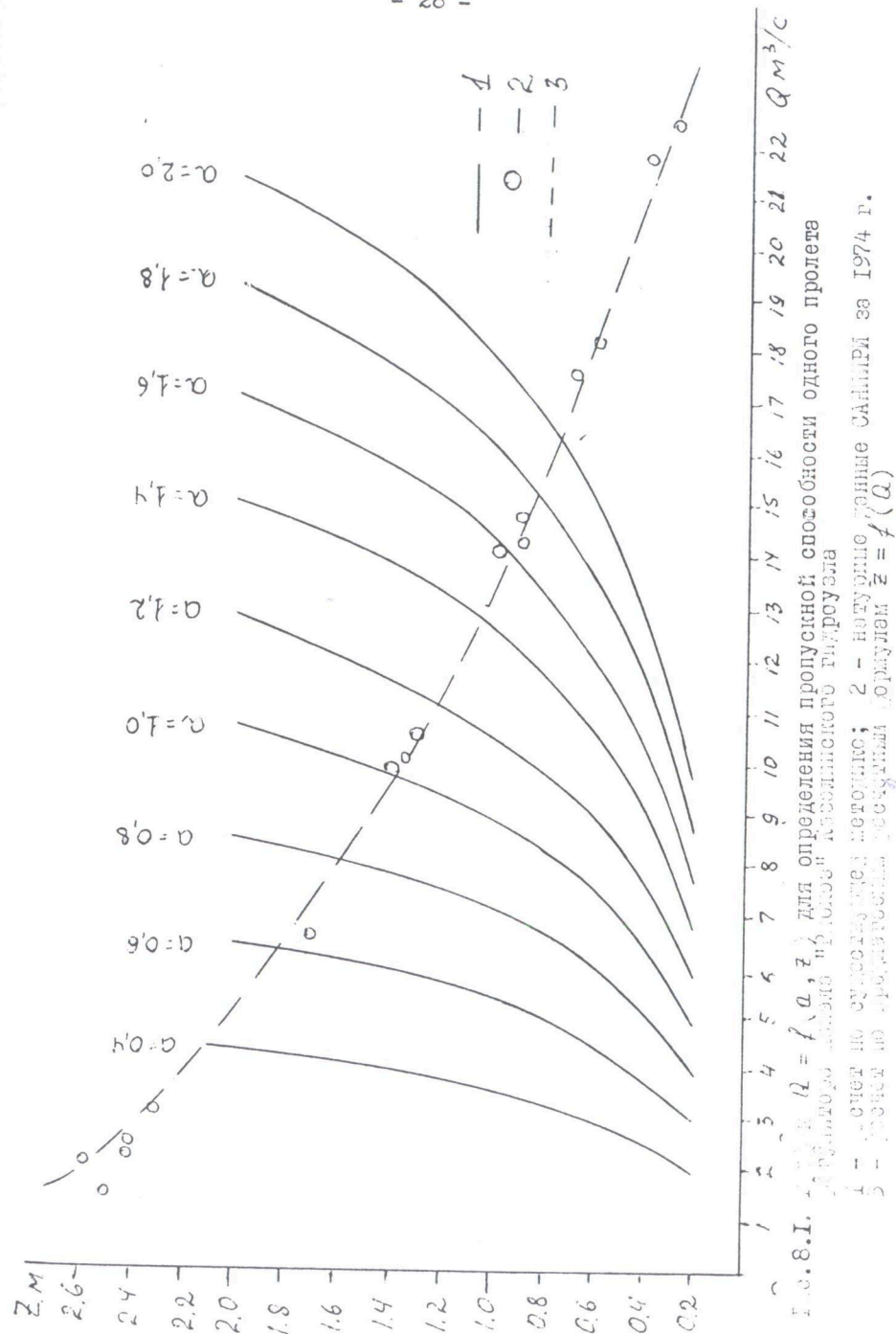
При постоянной отметке уровня воды перед сооружением и при изменении расхода воды через ГТС, увеличивается глубина наполнения в канале и уменьшается перепад уровней  $z$ . Следовательно, для конкретного ГТС будет свой закон изменения  $z$  от  $Q$ , т.е. свой график  $z = f(Q)$ .

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.





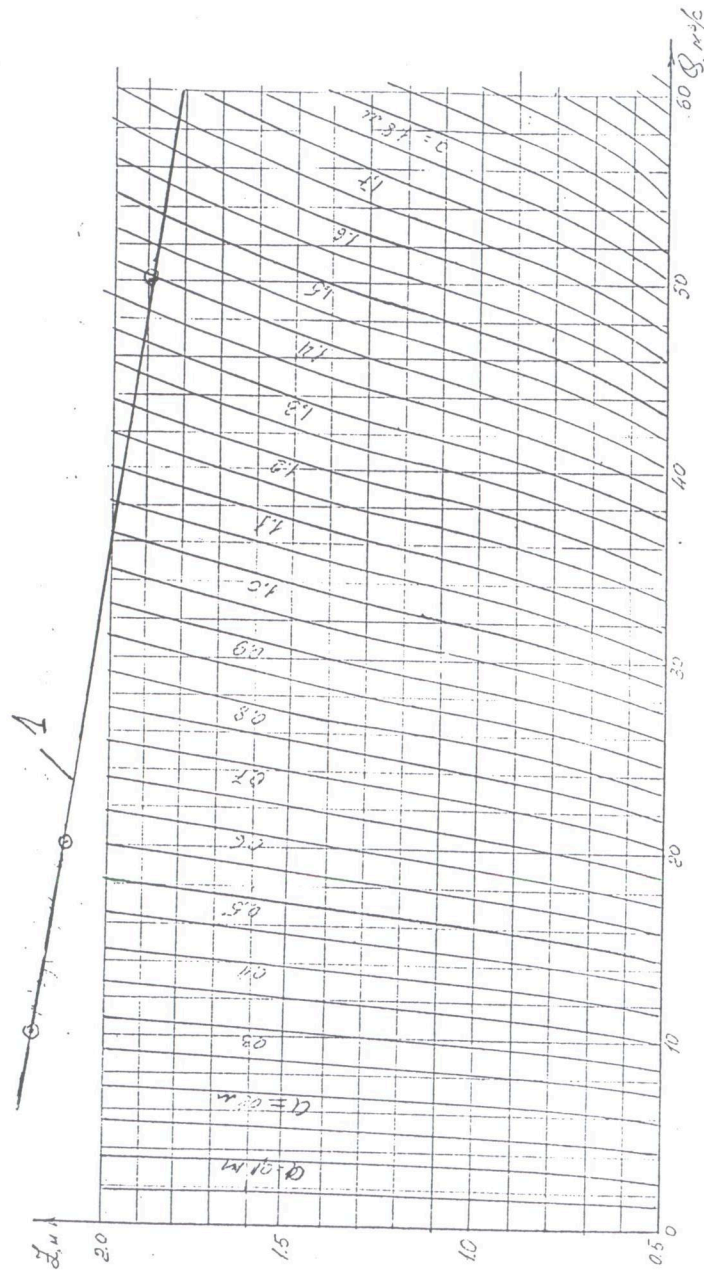


Рис. 6.3. Согласно соображениям Кирова (новое) погрешность  $Q = f(a, z)$  для одного отверстия I - Расчет по предложенному уравнению  $z = 2,28 - 0,0076a$ .

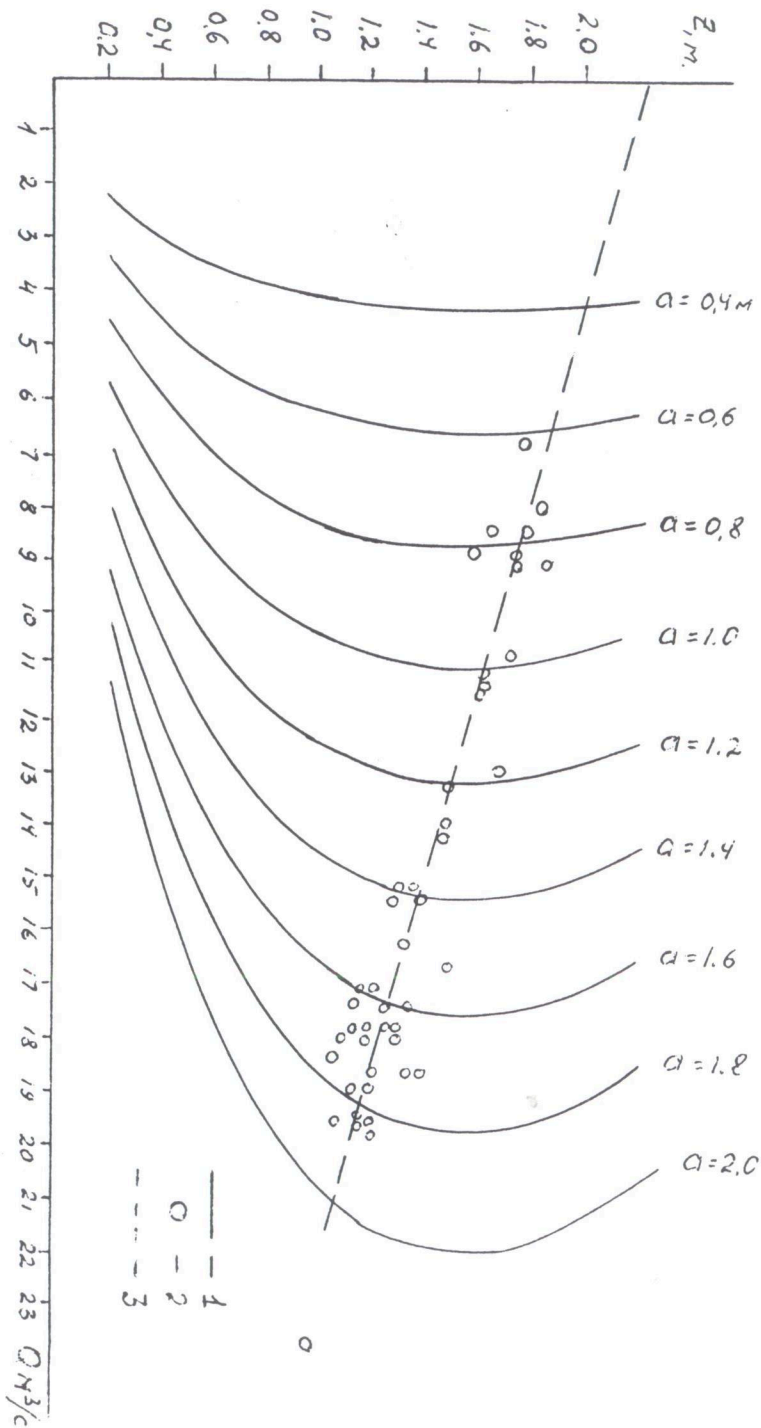


Рис. 6.8.2. График  $Q = f(a, z)$  для определения пропускной способности одного проема регулятора для Казалинского гидроузла  
I - расчет по существующей методике; 2 - натурные данные САННПН;  
3 - расчет по предлагаемому расчетной формуле  $z = f(a)$

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 м<sup>3</sup>/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 м<sup>3</sup>/с перепад уровней по фактическим данным составит  $z = 1,0$  м при открытии затворов  $a = 1,6$  м. При расходе воды 20 м<sup>3</sup>/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 определяется 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  $\mu$  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 Дуслик

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

$$z = 2,28 - 0,0076 Q \quad (9.23)$$

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<br>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<br>А. Затопленный режим истечения                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| 1        | Открытые регуляторы с затопленным истечением из-под затвора<br>$H \equiv \text{const} \times$ Условие затопления $h > a, h^n < h_n$ | Перепад уровней как разность уровней верхнего и нижнего бьефов или разности глубин<br>$H-h_n$ при одинаковой отметке порога-сооружения и дна канала; высота открытия затвора «а», ширина отверстия «в», пропускная способность определяется по формуле:<br><br>$\overline{Q} = \mu b n a \sqrt{2g} \sqrt{z} \quad (1)$ $\mu = \mu_{\max} - A z \quad (2)$ $\mu = \mu_{\max} - A_1 z^x \quad (3)$ $z = k - A_2 Q \quad (4)$ $z = k_1 - A_3 Q^x \quad (5)$ | Гидравлический; кол-во измерений не менее 10, охватывающих весь диапазон расходов канала, в пределах $a/a_{\max}$ или $z/z_{\max} = 0,1-0,85$ .<br>Градуировочные характеристики:<br>$Q$<br>1) $a = \dots \dots \dots (6)$<br>$f(z) b n \sqrt{2g} \sqrt{f(Q)}$<br>2) $z = f(Q)$<br>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<br>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 ( $H = \text{const}$ )<br>Условие затопления $h_n > a, h^n < h_n$<br><br>Трубчатые регуляторы-водоупуски из водохранилищ с прямоугольным входным отверстием и затопленным режимом истечения ( $H \neq \text{const}$ ). Условие затопления $h_n > a$<br><br>$h^n < h_n$ | Пропускная способность определяется по выражению<br>$Q = \mu b n a \sqrt{2g} \sqrt{H-h_n} \quad (8)$<br>Коэффициент расхода по выражению (7) или $\mu = f(H-h_n)$ . Глубина наполнения в канале $h_n = f(Q) \quad (9)$                                                                        | координат<br><br>Гидравлический. Градуировочные характеристики в виде:<br>а) при $\mu = f(a/H)$ номограмма $Q = f(a, H)$<br>б) при $\mu = f(H-h_n)$ $Q$<br>$A = \dots \dots \dots (10)$<br>$f(H-h_n) b n \sqrt{2g} \sqrt{H-h_n}$<br><br>где $h_n = f(Q)$<br>Составляется номограмма $a = f(Q, H)$ |
| 4        | Трубчатые регуляторы с круглым входным отверстием и затопленным режимом истечения ( $H = \text{const}$ ). Условие затопления $h_n > a, h^n < h_n$                                                                                                                                        | Пропускная способность определяется по формуле<br>$Q = \mu \omega_n \sqrt{2g} \sqrt{z} \quad (10)$<br>Площадь истечения определяется по формуле<br>$\omega_n = (1,8/R - 0,25) R^2 \quad (11)$<br>Измеряются $Q, a, z$ , вычисляется $\mu$ .<br>Определяются формулы $\mu = f(z)$ и $z = f(Q)$ | Градуировочная характеристика<br><br>$Q = F/f(Q) / \omega_n \sqrt{2g} \sqrt{f} \quad (12)$<br><br>Составление таблиц координат (10)                                                                                                                                                               |



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

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

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

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

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

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

$\sigma_n$  - 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  $\sigma_m$  - 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  $\sigma_z$  - 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  $\sigma = 7\%$ .

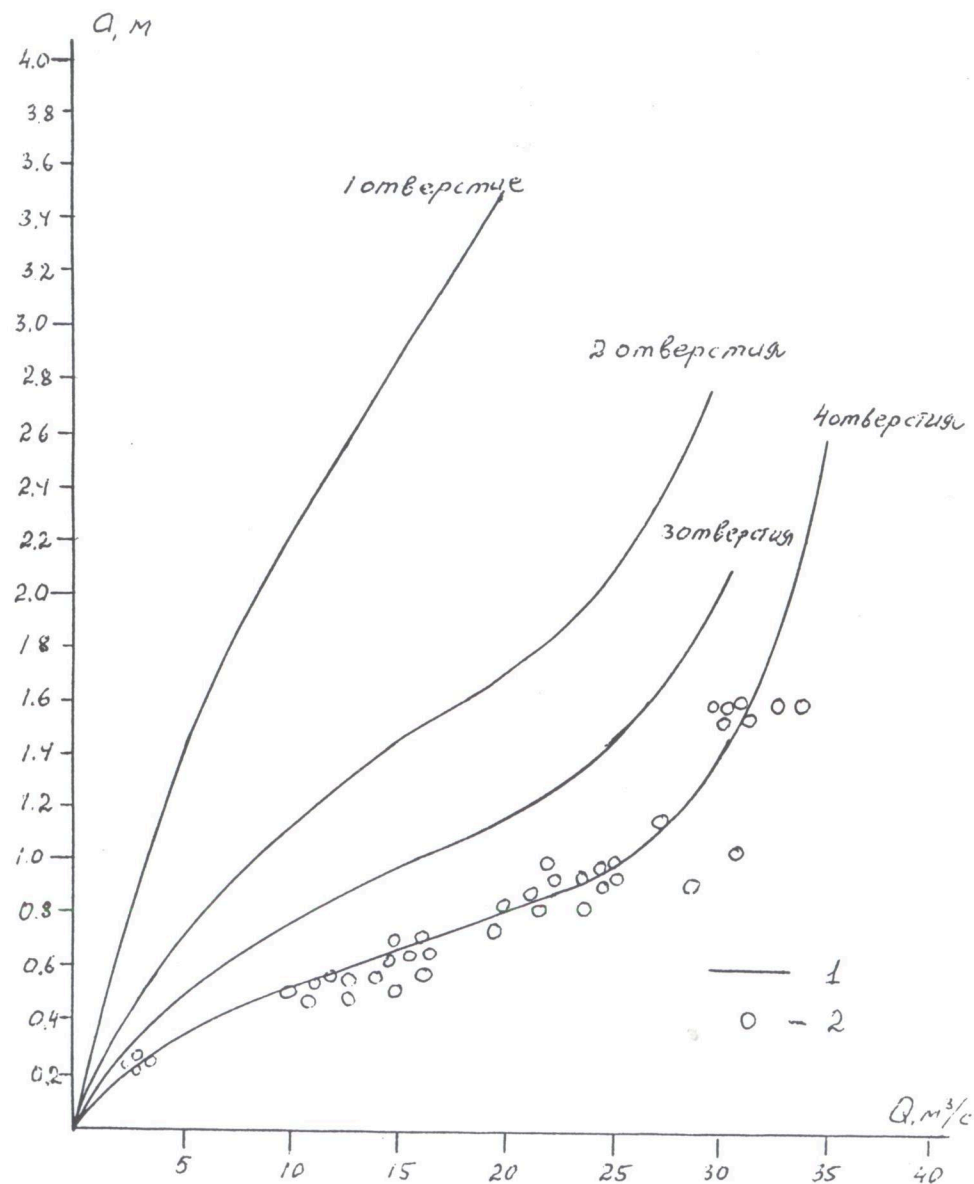


Рис. II.1. График  $a = f(Q, n)$  ЛМК Казалинского гидроузла  
1 - расчет по предлагаемому методу градуировки водопроводящих сооружений для различных сочетаний одновременно открытых отверстий;  
2 - натурные данные САН.МРП за 1972 г.

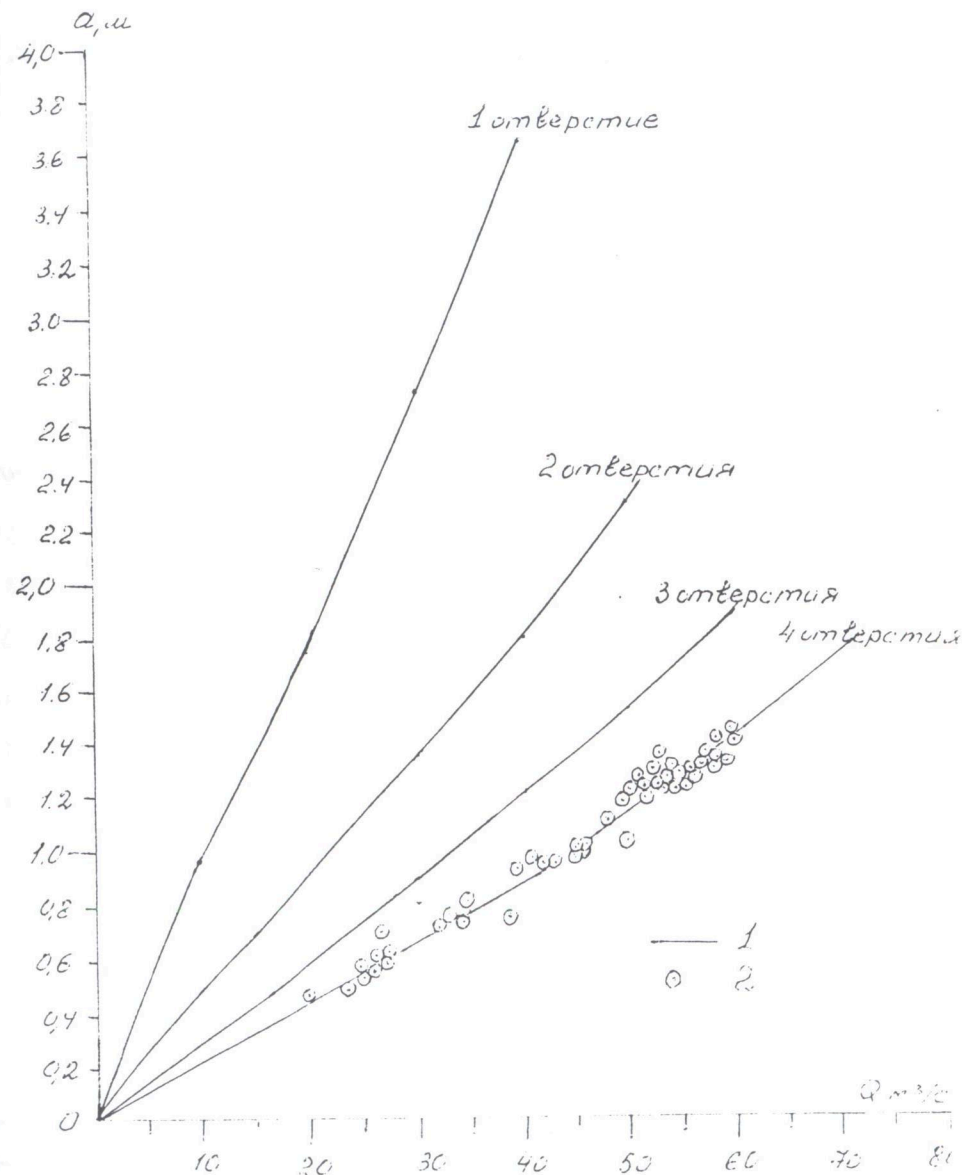


Рис. II.2. График  $a = f(Q, n)$  ЛМК Казалинского гидроузла  
1 - расчет по предлагаемому методу градуировки водопроводящих сооружений для различного сочетания одновременно открытых отверстий;  
2 - натурные данные САН.МРП за 1979 г.



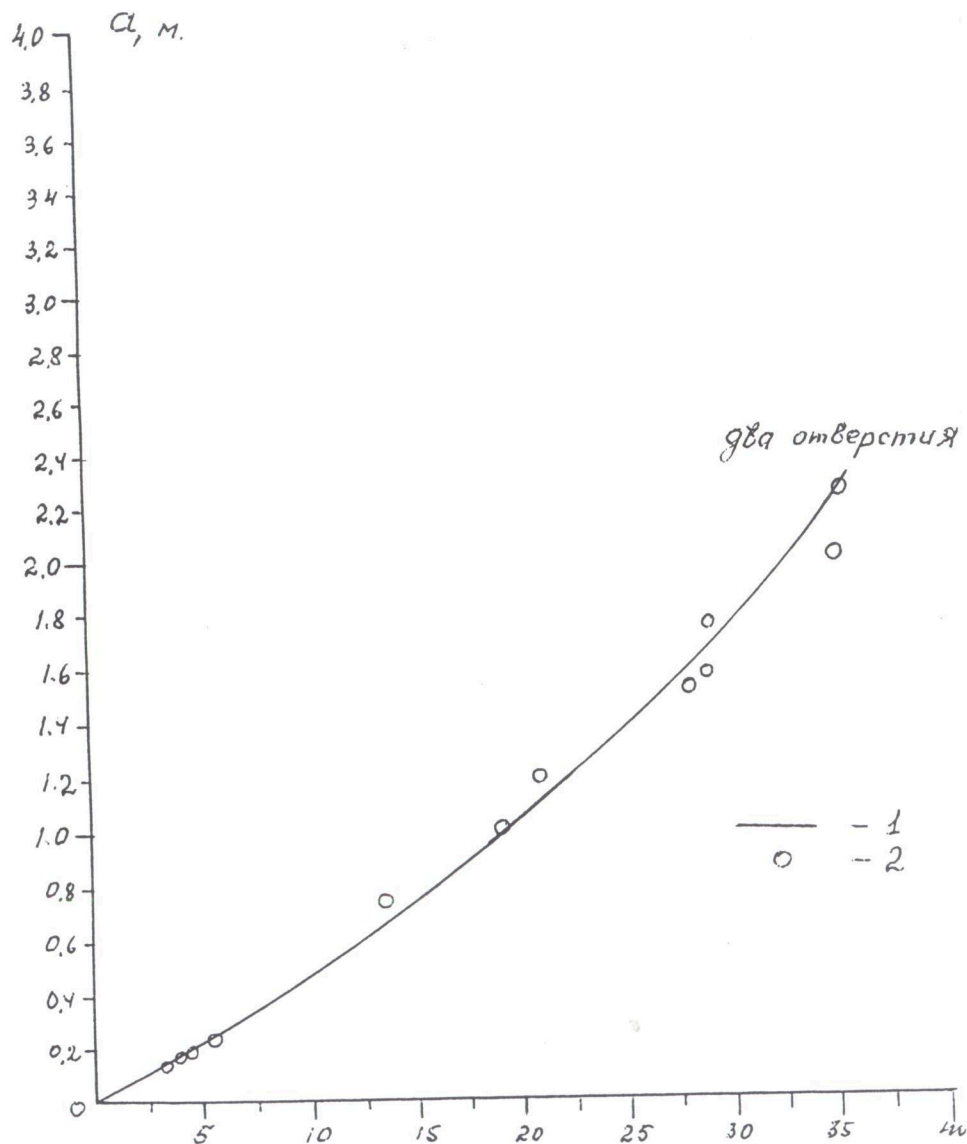


Рис. II.3. График  $a = f(Q, n)$  канала "Рибхоз" Казанского гидроузла

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

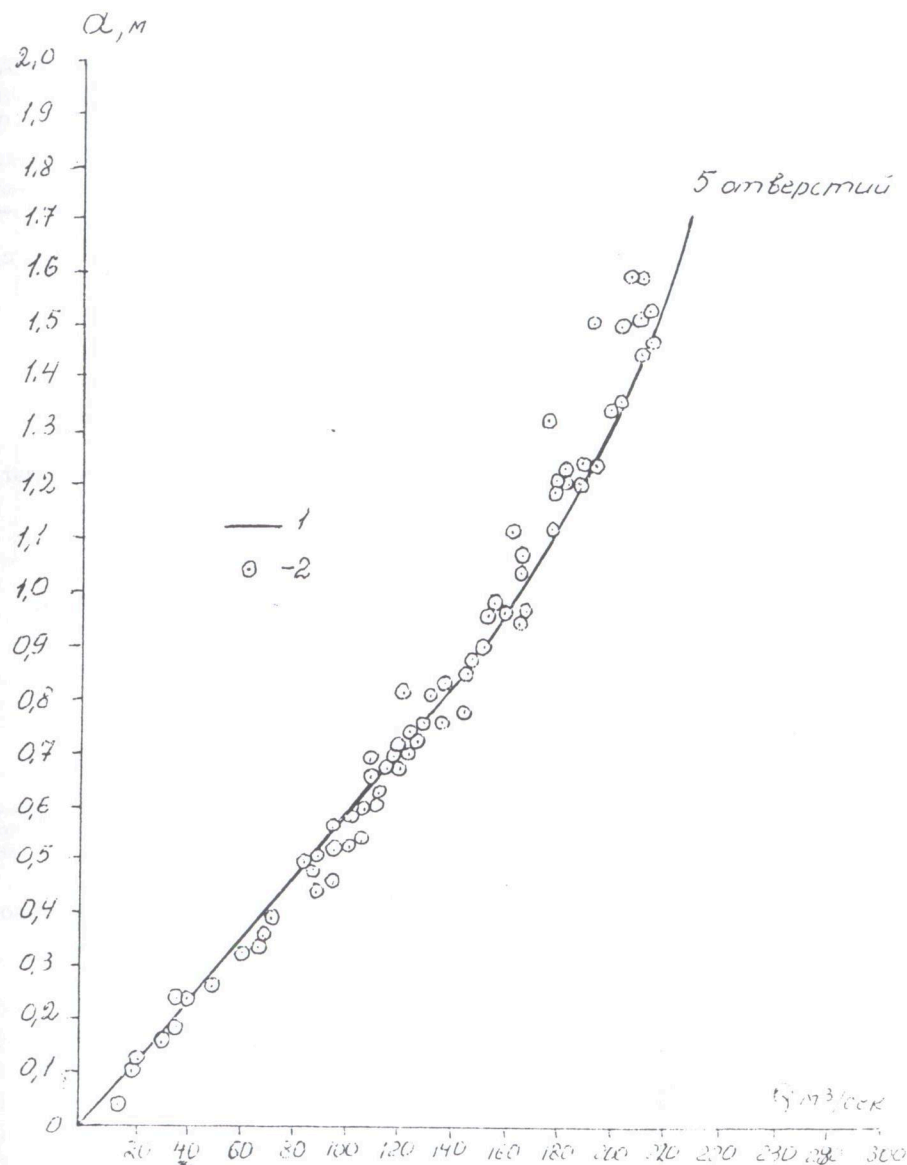


Рис. II.4. График  $a = f(Q, n)$  головного сооружения канала им. Кирова

- 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  $z = 2,16-0,58 Q$

|    | Расход воды, м <sup>3</sup> /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 <sup>3</sup> /с | Расход воды, м <sup>3</sup> /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 |
|                                | 1,722                          | 1,756 | 1,791 | 1,826 | 1,860 | 1,899 |       |       |       |       |



### Приложение 3

Градуировочная характеристика в табличной форме (таблица координат)

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

СИР – водопроводящее сооружение «Рыбхоз Казалинского гидроузла

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

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

| Расход<br>воды,<br>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]