

6
Т-78
44846

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР
СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ им. В. Д. ЖУРИНА
С А Н И И Р И

Т Р У Д Ы
СРЕДНЕАЗИАТСКОГО
ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО ИНСТИТУТА
ИРРИГАЦИИ им. В. Д. ЖУРИНА

В Ы П У С К

115

Автоматизация гидромелиоративных систем

МИНИСТЕРСТВО МЕЛИОРАЦИИ И ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА СССР

СРЕДНЕАЗИАТСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ИРРИГАЦИИ ИМ.В.Д.ЖУРИНА
"САНИИРИ"

ТРУДЫ САНИИРИ

В ы п у с к

II5

Автоматизация гидромелиоративных
систем



г.Ташкент - 1967

44846

УДК 626 824 + 627 833/34

В сборнике освещены вопросы разработки систем гидравлического регулирования и авторегулирования подачи и потребления воды на ирригационных каналах, средства и расчеты автоматического измерения и регулирования воды на открытой и закрытой сети, а также об объеме телеинформации исполнительной аппаратуры, и др.

Книга предназначена для научных, инженерно-технических работников проектных и эксплуатационных организаций.

И.Б.Хамадов, В.П.Судаков

НЕКОТОРЫЕ ОБЩИЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБЛАСТЬ
ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ АВТОРЕ-
ГУЛИРОВАНИЯ В ИРРИГАЦИОННЫХ КАНАЛАХ

Известны в общем виде ряд принципов, на основании которых предлагаются различные типы систем гидравлического (по нижнему бьефу, смешанного типа, способу сообщаемых уровней воды), а также электрического авторегулирования на ирригационных каналах. В Советском Союзе к исследованию и разработке таких систем с 1963 г. приступили три института: Средазгипроводхлопок (например, проектное задание по совхозному распределителю ЮР-18-3 в целинной части Голодной степи), САНИИРИ им.В.Д.Журина [20], Институт автоматики АН КиргССР [1,2,15], не считая разработок по системе регулирования по нижнему бьефу для рисовых полей Краснодарского края, напорных закрытых трубопроводов для целей орошения.

За рубежом на оросительной сети применяются некоторые типы систем гидравлического авторегулирования, механическое и гидравлическое оборудование которых изготавливается в основном французской фирмой "Нейрпик" [3,4,5,6,7 и др.]. Примером являются системы регулирования по нижнему бьефу - в Мальгашской республике (остров Мадагаскар, сеть поймы р.Магавава, площадь - 10 тыс.га), в Пакистане (сеть Кухтия, питающаяся из р.Ганга; здесь в 1956г. установлены крупнейшие автоматы нижнего бьефа с расходом до

45 м³/сек); смешанный тип регулирования применяется в Тунисе, Марокко (система орошения Бени-Муса) и др.

В нашей стране в настоящее время в стадии рабочих чертежей могут быть запроектированы только средства и системы, регулируемые по верхнему бьефу. Для систем авторегулирования по нижнему бьефу предложен и исследован ряд средств автоматики-затворы-автоматы уровня нижнего бьефа

[8,9,10,1,2 и др.]. По системам авторегулирования смешанного типа и способу постоянного перепада уровней средства автоматики только разрабатываются.

Таким образом, для доведения систем гидравлического и электрического авторегулирования, кроме систем регулирования по верхнему бьефу, до стадии рабочего проектирования необходимо выполнить комплекс научно-исследовательских и экспериментальных работ по средствам автоматики и действию самих систем.

Сложность расчетов систем как с гидравлическим, так и электрическим авторегулированием, отсутствие, отчасти, отечественного опыта проектирования, строительства и эксплуатации таких систем, к тому же и недостаточной технической литературы по этим вопросам, требуют постановки широких экспериментальных работ для выработки конкретных и обоснованных рекомендаций. Только тогда возможно организовать качественное проектирование и строительство автоматизированных оросительных систем, наладить правильную эксплуатацию в производственных условиях.

В настоящее время на производственной базе научно-исследовательского отдела (НИО) института Средазгипроводхлопок,

при методической помощи лаборатории автоматизации ГМС САНИИРИ им. В. Д. Журина начато строительство экспериментальных каналов и сооружений для изучения работы внутрихозяйственных ирригационных систем с гидравлическим и электрическим авторегулированием, а также стендов для испытаний средств автоматики.

Проектом предусмотрено строительство двух экспериментальных каналов протяженностью около 550 м каждый для параллельных исследований систем с гидравлическим и электрическим авторегулированием. Каналы разбиваются на три бьефа перегородивающими сооружениями, специально приспособленными для установки средств автоматики различных конструкций. В каждом бьефе предусматриваются три водовыпуска с автоматами расхода и один водосброс.

Вода в каналы подается из специального бассейна регулирования, расположенного в голове каналов. Питание водой этого бассейна предусматривается из общего резервуара насосной станции. Вода из водовыпусков, водосбросов и каналов отводится в сброс закрытого типа, расположенный в середине между двумя каналами. Отсюда вода возвращается обратно в общий резервуар насосной станции. Таким образом обеспечивается круговорот (циркуляция) воды.

Экспериментальные каналы рассчитаны на пропуск максимального расхода $Q = 1000 \text{ л/сек}$, строительная глубина по всей длине $H_c = 1,2 \text{ м}$, ширина каналов по дну $b = 0,5 \text{ м}$, коэффициент откосов $m = 1,5$. Такие параметры канала получены путем моделирования натурального канала ЮР-18-3 Голодной степи.

Стенд для испытания средств автоматики (затворов гидравлического действия, электрических авторегуляторов, датчиков и др.) позволяет исследовать одновременно до 8 устройств в равноценных гидравлических условиях с предусмотренными различными режимами их работы.

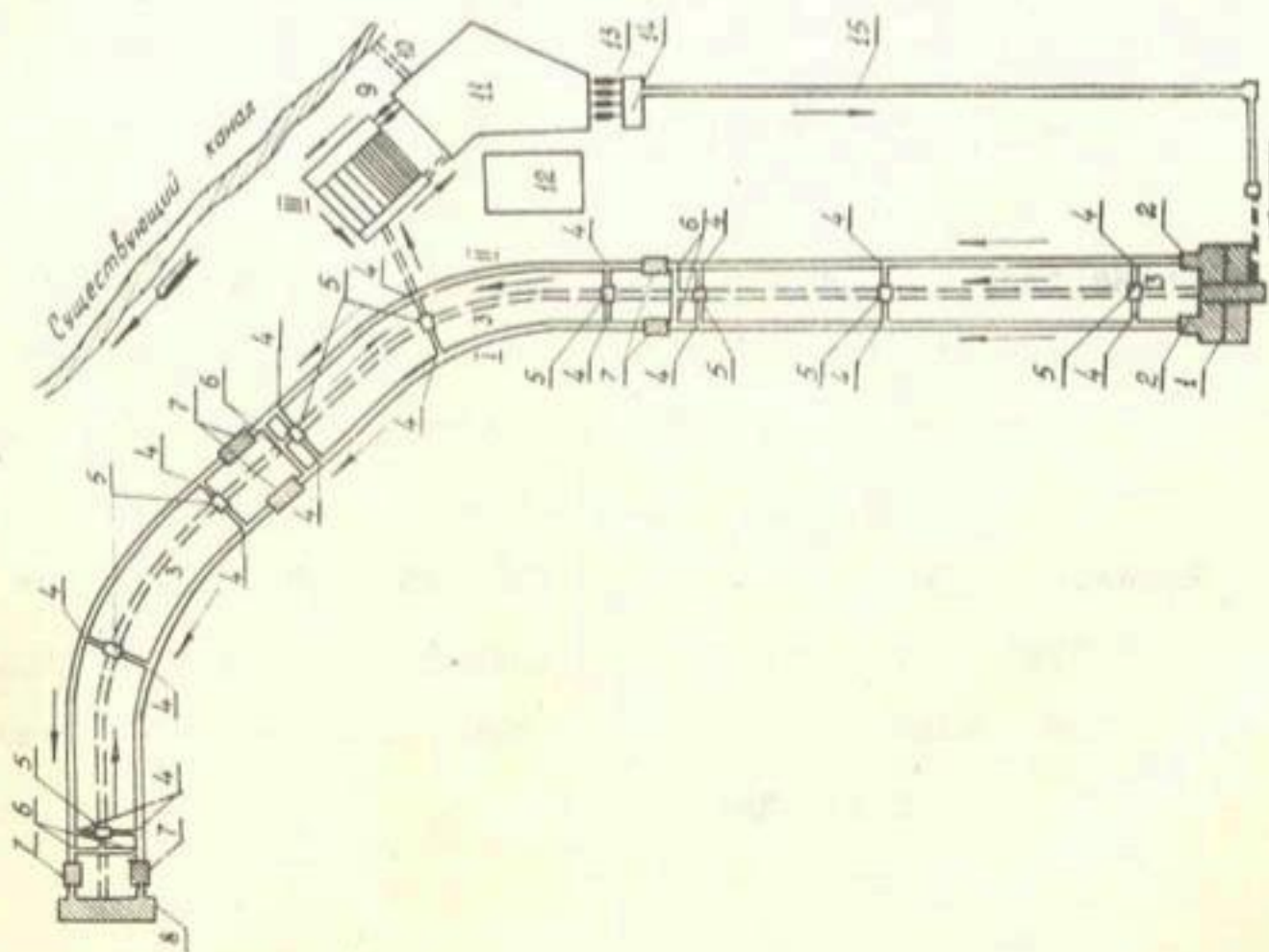
На рис. 1 приведена схема расположения экспериментальных каналов, сооружений и стендов, строящихся на производственной базе института Средазгипроводхлопок по ул.Сагбан в г.Ташкенте.

Исследования, начатые в 1965г., проводятся НИО Института Средазгипроводхлопок совместно с лабораторией автоматизации ГМС САНИИРИ им.В.Д.Журина.

Необходимо решить ряд задач теоретического и практического характера.

Гидротехнические сооружения и оросительная сеть должны обеспечить подачу потребных расходов воды нужного качества в определенные необходимые точки их забора (орошения) и нужный период времени. При этом ставится следующая задача: между водоподачей и водопотреблением должна быть неразрывная связь; потери воды на аварийный сброс, фильтрацию и т.д. должны быть незначительными; необходимо добиться наименьших затрат труда обслуживающего персонала и обеспечения нормальной работы как сети, так и сооружений на ней, а также строгого выполнения плана водопользования для каждого отвода и всей системы в целом. Выполнение этой задачи возможно при применении на ирригационных каналах систем авторегулирования, то есть для

рис. I. Схема участка экспериментальных каналов, сооружений и испытательных стендов. I и II - Каналы для исследования гидравлических и электрических систем авторегулирования. III - Стенд для испытания автоматических водорегулирующих устройств в равноценных условиях: I - бассейн регулирования экспериментальных каналов; 2 - головные регуляторы каналов с водомерными сооружениями; 3 - сбросные водовыпуски типа; 4 - водоспуски с автоматами расход воды; 5 - водосбросные колодцы сброса; 6 - автоматические водосбросы каналов; 7 - перегораживающие сооружения каналов с автоматами уровня воды; 8 - концевые сооружения каналов; 9 - насосная станция № 2 стенда испытания автоматов III; 10 - труба заполненная водой бассейна из существующего канала; II - бассейн насосных станций; 12 - диспетчерский пункт; 13 - насосная станция № I экспериментальных каналов; 14 - водоприемный резервуар; 15 - лоток подвода воды к каналам.



установления неразрывного соответствия между водоподачей в головное сооружение и потреблением ее в выпусках канала, в последнем необходимо иметь совершенное автоматическое оборудование сооружений и достаточные резервные объемы воды в бьефах, обеспечивающих измененное потребление воды при перерегулировании, а также гидравлические, электрические, пневматические или другие "связи" — как обратные, так и прямые — из бьефа в бьеф или непосредственно от водовыпусков до головы канала и обратно.

Остановимся на вопросах гидравлических и электрических связей в системах авторегулирования канала при изменении их расходов воды.

Наличие обратной связи создает замкнутый контур передачи воздействий в системе автоматического регулирования. Это позволит на сооружениях канала автоматически осуществить заданный закон — изменение расходов поданной воды в зависимости от ее потребления.

Передача состояний работы канала (изменения, потребления воды) и воздействий на вышерасположенное сооружение (для получения соответствующего регулирования расходов подачи) связано с временем запаздывания, обусловленного инерционностью бьефов системы, волновыми процессами и транспортировкой измененных расходов. Поэтому для проектировщиков важен расчёт резервных объемов бьефов канала, за счёт которых обеспечивается подача (или отказ), разницы измененных расходов в выпуски за период осуществления обратной и прямой связи в системе авторегулирования.

Под обратной связью регулирования в общем виде понимаем передачу воздействий соответственно состоянию измененного потребления воды выпусков вышерасположенным перегородивающим сооружениям от одного к другому вплоть до головы канала или непосредственно к последнему, чтобы получить расход подачи, отвечающий потреблению.

Обратная гидравлическая связь регулирования - волновой процесс, перемещающийся от водовыпусков к головному сооружению в виде "возмущений" (воздействия), для передачи состояния потребления расходов воды выпусков автоматам головного сооружения канала с их сработкой (в соответствии с расходами водопотребления и водоподачи).

Обратная гидравлическая связь осуществляется от водовыпусков из бьефа в бьеф до головы канала в виде обратной волны, положительной при уменьшении (отказе) расходов водовыпусков, отрицательной - при их увеличении (включении); электрическая - как из бьефа в бьеф, так и непосредственно от водовыпусков в головное сооружение канала в виде электрического сигнала.

Под п р я м о й с в я з ь ю перерегулирования понимаем процесс перемещения воды от головного сооружения из бьефа в бьеф и выпускам канала в виде переменных волновых расходов для осуществления соответствия между водоподачей и ее потреблением.

Существует два вида регулирования волновых расходов: включения (положительный, увеличение расходов воды), возникает с поднятием затворов-автоматов головного, перегороди-

вающих сооружений канала, и отказа (отрицательный, уменьшение расходов) - с их прикрытием.

При этом обратная связь в зависимости от определенных условий (уклонов дна бьефов и т.д.) осуществляется в системе авторегулирования гидравлической, электрической или другой энергией, а прямая, в виде волновых расходов перерегулирования, может быть только гидравлической.

Автоматы головного и перегораживающих сооружений канала, соответствующие определенным системам авторегулирования, могут использовать гидравлическую, электрическую или пневматическую энергию, или смешанный тип для их привода в действие.

На водовыпусках используются в основном гидравлические автоматы постоянных расходов. Они применимы при значительных колебаниях горизонтов верхнего бьефа и затоплении нижнего. Эти автоматы позволяют плавно изменять уставки расходов как механическим, так и электрическим приводом малой мощности по слаботочным линиям связи (с очень простой скелетной схемой телемеханики) [10 и др.].

Следовательно, одной из главных задач исследований систем авторегулирования является разработка и экспериментальная проверка работы средств автоматики, отвечающие ряду эксплуатационных, конструктивно-строительных, технико-экономических требований.

Бьефы перегораживающих сооружений канала должны иметь достаточные резервные объемы и емкости для регулирования системы, то есть необходимо, чтобы они обеспечили изменен-

ное потребление воды без разрыва от ее подачи.

Таким образом, резервные объемы воды и емкости бьефов канала в наихудших условиях режимов работы систем (с определенными расходами выпусков - одновременное максимально допустимое их включение или отказ) должны обеспечить измененное потребление воды за период времени-передачи обратной и прямой связи, срабатывания автоматов головного, перегораживающих сооружений и изменения положения установки постоянных расходов воды для самих затворов-автоматов выпусков.

Другая основная задача исследований - установление (в определенных створах канала) характера образования и протекания неустановившегося режима потока при регулировании расходами воды (возникновение и распространение воли, реакции сооружений на волновой процесс и т.д.), и, в конечном итоге, времени, которое необходимо для полного перерегулирования системы при изменении потребления, и величины резервных объемов воды и емкостей бьефов, обеспечивающих безразрывное соответствие между водопотреблением и водоподачей, т.е. выработать методику инженерного расчета систем авторегулирования.

Не менее важно исследовать динамику, устойчивость, оптимальность переходных процессов и надежность работы систем авторегулирования не только в нормальных, но и в аварийных условиях, а также рациональное размещение средств автоматики на системе, экономичность и т.д.

Предположим, канал имеет трапециевидальную форму попе-

речного сечения с определенными габаритами: ширину по дну - b , коэффициента откоса - m , уклона дна i ; коэффициент шероховатости - n и пропускную способность расходов воды - $Q_{\min.}$, $Q_{\max.}$. Задачу по определению резервных объемов воды и емкости бьефов канала можно решить методом постепенного рассмотрения видов движения потока (от простейшего к сложному), приближая их к реальным состояниям и случаям, в зависимости от граничных условий.

Таким образом, если в случае равномерно установившегося движения потока в канале постоянного сечения задача сводится к определению глубины воды в нем. - $h_0 = const$ (она постоянна для каждого произвольно выбранного створа), а для неравномерно установившегося движения - выявлению $h = h(l)$ на расстоянии l от некоторого начального створа h_0 , то задача расчётов неустановившегося движения потока - получение зависимостей вида

$$Q = Q(l, t) \text{ и } h = h(l, t),$$

т.е. функций параметров режима Q и h в зависимости от местоположения створа l и времени t .

Определение первого вида движения потока и расчёт h_0 производится довольно простыми способами: подбором, графо-аналитически или по линейке для расчётов канала В.Ф.Пояркова.

Для второго вида движения потока построение кривых свободной поверхности в русле каналов (бьефах) и расчёт

$h = h(\ell)$ производится известными способами приближенных решений В.И. Чарномского (1914г.), Б.А.Бахметьева (1914г.), Н.Н. Павловского (1924г.), И.И.Леви (1928г.), А.Н.Рахманова (1930г.), Р.Р.Чугаева (1931г.), К.А.Михайлова (1932г.), М.Д.Чертоусова (1934г.), И.И.Агроскина (1940г.) и др.

Исследовать аналитически неустановившееся движение и рассчитать параметры режима $Q=Q(\ell, t)$ и $h=h(\ell, t)$ чрезвычайно трудно, и даже приближенное решение требует в большинстве случаев применения электронно-вычислительных машин [11,12,13,14,15 и др.]

Цель наших исследований-получение серии универсальных номограмм и характеристик для расчёта необходимых резервных объемов воды в бьефах сооружения, которые могут быть использованы как проектировщиками, так и эксплуатационниками. Но во всех случаях необходимы как лабораторные, так и натурные испытания.

Общеизвестны исходные уравнения неустановившегося движения потока в открытых руслах [16,17 и др.]:

$$i_0 - \frac{\partial H}{\partial \ell} = \frac{v^2}{C^2 R} + \frac{\alpha}{g} \left(v \frac{\partial v}{\partial \ell} + \frac{\partial v}{\partial t} \right), \quad (a)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \ell} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0, \quad (б)$$

где

Q - расход потока;

H - глубина его;

ω - площадь живого сечения;

R - гидравлический радиус;

C - коэффициент Шези;

- v - средняя скорость потока в данном сечении;
 i_0 - уклон дна канала;
 α - коэффициент кинетической энергии;
 g - ускорение силы тяжести;
 l - расстояние начального створа (сечения) до рассматриваемого;
 t - время.

Первая формула (а) - основное уравнение неустановившегося медленно изменяющегося движения и называется уравнением динамического равновесия. Левая часть его представляет собой уклон свободной поверхности потока J ; первое слагаемое правой части указывает на влияние сил трения, второе, заключенное в скобки, - сила инерции ($\frac{\partial v}{\partial l}$ учитывает изменение скоростного напора по длине бьефа; $\frac{\partial v}{\partial t}$ - состояние потока вследствие влияния собственных сил инерции). Уравнение можно интерпретировать и как закон сохранения энергии.

Вторая формула (б) - уравнение неразрывности потока в условиях неустановившегося движения его в канале. Уравнение можно истолковать и как закон сохранения материи.

Указанные уравнения были сформулированы в 1871г. французским гидродинамиком Сен-Венаном, им же было дано решение для простого частного случая - русла с прямоугольным поперечным сечением, горизонтальным дном и идеальной жидкостью. Но прошло 60 лет, прежде чем удалось найти решение этих уравнений и для других случаев призматического русла с реальным потоком. Существует три основных

метода решения уравнений (а) и (б) в виде приближенного их интегрирования:

а) метод конечных разностей, разработанный Н.М.Бернадским (1930-33гг.), а затем В.А.Архангельским, И.В.Егiazаровым, Н.В.Мастицким, А.Н.Рахмановым и др. ;

б) метод характеристик, предложенный С.А.Христиановичем (1935-1938гг.). Сюда относятся предложения В.В.Ведерникова, В.М.Маккавеева и др.;

в) метод, использующий теорию волн малой амплитуды, которая разработана Н.Т.Мелещенко, Г.Г.Самородовым, В.П.Симоновым и др.

Точность и полнота любого расчёта определяется не только применяемыми способами, но и качеством и полнотой используемых исходных материалов.

На основании уравнений (а) и (б) С.А.Христианович дал классификацию волн, которой отвечают следующие условия [19]:

1) обратная положительная волна

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} > 0; \frac{\partial \omega}{\partial \ell} > 0; \frac{\partial \nu}{\partial t} < 0; \frac{\partial \nu}{\partial \ell} < 0; \quad (в)$$

2) прямая отрицательная волна

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} < 0; \frac{\partial \omega}{\partial \ell} > 0; \frac{\partial \nu}{\partial t} < 0; \frac{\partial \nu}{\partial \ell} > 0; \quad (г)$$

3) обратная отрицательная волна

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} < 0; \frac{\partial \omega}{\partial \ell} < 0; \frac{\partial \nu}{\partial t} > 0; \frac{\partial \nu}{\partial \ell}; \quad (д)$$

4) прямая положительная волна

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} > 0; \frac{\partial \omega}{\partial \ell} < 0; \frac{\partial v}{\partial t} > 0; \frac{\partial v}{\partial \ell} < 0. \quad (e)$$

Эта классификация весьма удачно отражает физическую сторону явлений, характеризуемых уравнениями (а) и (б).

Формы неустановившегося движения потока в канале схематично изображены на рис. 2.

В системах гидравлического авторегулирования каналов (рис. 2) в случае уменьшения расходов одного или нескольких водовыпусков бьефов канала: а) при обратной гидравлической связи имеем обратную положительную волну 1 (волну подпора), б) при прямой — прямую отрицательную волну 2 (волну отлива);

в случае включения дополнительных расходов воды (увеличения) одного или нескольких водовыпусков бьефов канала: а) при обратной гидравлической связи — обратную отрицательную волну 3 (волну излива), б) при прямой — прямую положительную волну 4 (волну наполнения).

В зависимости от типа систем авторегулирования формы и виды волн (гидравлической связи) могут видоизменяться и усложняться.

Опыт и теоретические исследования показывают, что положительные волны имеют более крутой фронт движения, чем отрицательные.

Отличительная особенность прямых положительных волн — способность их переносить в бьефах систем авторегулирования каналов больших объемов воды (в отличие от морских,

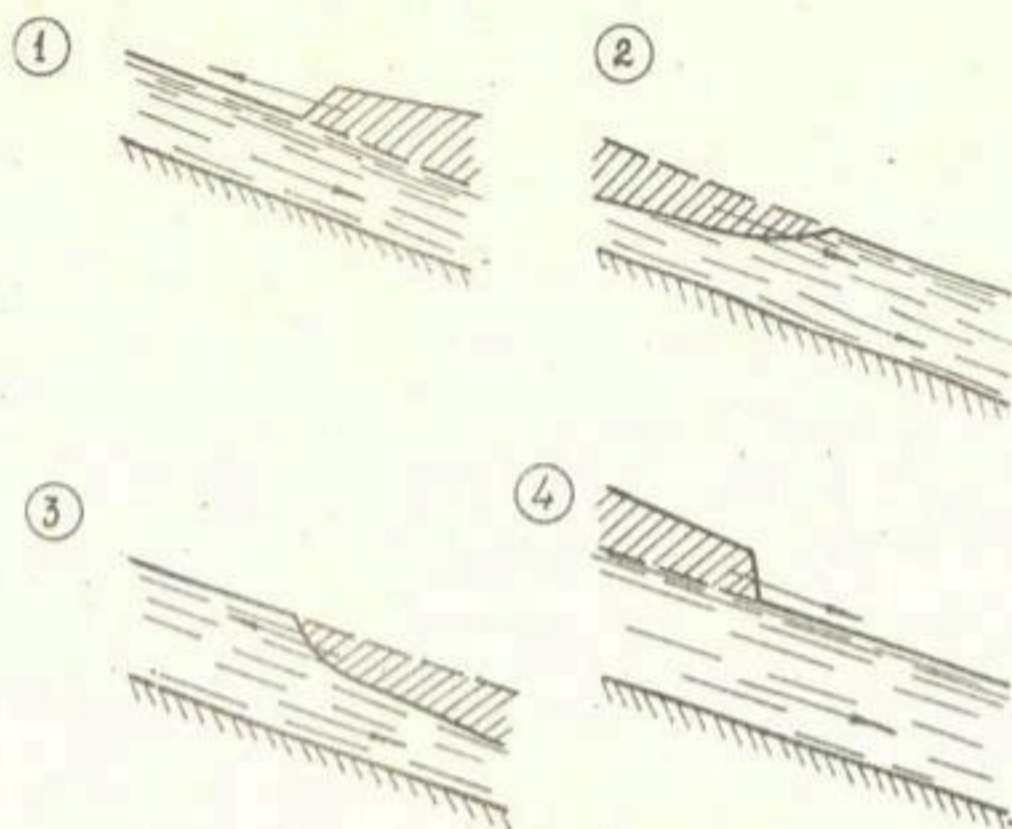


Рис.2. Волновые гидравлические связи системы авторегулирования в бьефах канала.
 Обратные волны: 1-положительная (волна подпора);
 3-отрицательная (излива).
 Прямые: 2-отрицательная (волна отлива);
 4- положительная (наполнения) .

озерных волн в "стоячей" воде). Поэтому такие волны называются волнами перемещения.

Волны систем регулирования каналов имеют мгновенный профиль весьма малой кривизны, вследствие чего элементы потока (расход, скорость течения, уровни и т.д.) изменяются сравнительно медленно как во времени, так и по длине бьефов. В этом случае имеем **м е д л е н н о**
и з м е н я ю щ е с я н е у с т а н о в и в ш е е -
с я д в и ж е н и е потока (в виде непрерывных волн). Такие волны имеют значительную, по сравнению с величиной подъема уровня воды, длину. Это позволяет упростить наши представления о закономерностях неустановившегося движения, дать более простые граничные условия и т.д.

Волновой расход перемещения зависит от скорости распространения волны. При одновременном включении или отказе водовыпусков на определенные расходы воды обратная гидравлическая связь в виде отрицательной или положительной волны, добегая вверх по каналу, заставляет "сработать" выходящий автомат перегораживающего сооружения и получить волну наполнения (положительную и прямую) или отлива (отрицательную и прямую). Волны в лежащих ниже створах длинных бьефов канала обладают свойством "затухания" и "распластывания" (особенно при заборе воды рядом водовыпусков по длине канала), а при наличии ряда перегораживающих сооружений - "**ч а с т и ч н о г о о т р а ж е н и я**" и "**н а л о ж е н и я**" их друг на друга и т.д. При этом особенно в начальных створах нижнего бьефа автоматов головного, перегораживающих сооружений (для расходов вклю-

чения) наблюдается следующее во времени: сначала образуется максимальный гидравлический уклон J , затем наибольшая скорость движения воды в сечении канала U , потом наступление максимального расхода Q и, наконец, - наивысший уровень H . Отставание этих величин друг от друга тем больше, чем больше длинные волны (непрерывные) будут приближаться по форме к коротким (прерывистым). Это говорит о неоднозначности зависимости $H = f(Q)$ при неустановившемся движении потока (в противоположность однозначной - $H = f_1(Q)$ для установившегося движения воды в канале с неизменным поперечным его сечением). Поэтому определение волнового расхода по известным зависимостям имеет условный характер.

Вопросы расчёта явлений неустановившегося движения потока канала даже в общем виде здесь не рассматриваются.

Остановимся кратко на практически важном вопросе исследований - скорости распространения волн "С".

Если имеется перемещение волны малой высоты в канале, невозмущенное движение в котором определяется средней глубиной $\bar{H}$ (соответственно живому сечению $\bar{\omega}$ и ширине потока поверху $\bar{B}$) и средней скоростью $\bar{U}_0$, то скорость волны определяется формулой [16,17,18]

$$c = \bar{U}_0 \pm \sqrt{g \frac{\bar{\omega}}{\bar{B}}} \quad (ж)$$

В данную формулу необходимо ввести коэффициент μ , тогда она примет вид

$$c = \bar{v}_0 \pm \mu \sqrt{\frac{g\bar{\omega}}{B}}, \quad (x')$$

где μ - коэффициент, характеризующий степень влияния сил трения, реакции сооружений в рассматриваемом сечении на движение волны и т.д. Знак плюс ставится в случае прямой волны, минус - обратной.

Значение коэффициента μ должно меняться от 0 до 1. При условии движения потока по сухому руслу $\mu = 0$; при пренебрежении силами трения, т.е. для идеальной жидкости, $\mu = 1$. Таким образом, в остальных случаях движения реальной жидкости значения μ колеблются в пределах от 0 до 1. В общем случае с ростом глубины первоначально установившегося потока $\bar{H}$ значение μ растёт, а с увеличением коэффициента шероховатости русла n , реакции сооружений, явлений "затухания" и "распластывания" волны и т.д. μ уменьшается.

Некоторые авторы считают, что приведенной выше формулой (ж) для определения скорости распространения волн можно пользоваться при высотах волн $\Delta H \leq 0,1 \bar{H}$. При волнах большей высоты скорость "С" определяется по формуле

$$c = \bar{v}_0 \pm \sqrt{g \left(\frac{\bar{\omega}}{B} + \frac{3}{2} \Delta H \right)}. \quad (з)$$

Неучёт сил трения русла в формулах (ж) и (з), как показывают отрывочные опыты по рекам, не приводит к заметным по-

грешностям, если начальная глубина потока $\bar{H}$ достаточно велика (превосходит 5-7 м). При меньших глубинах $\bar{H}$ влияние сил трения очень существенно. В естественных потоках (реки) с глубиной порядка 1-2 м скорости перемещения волн оказываются в 2-3 раза меньше значений, вычисляемых по формуле (3). Значит, формула (3) перед радикалами должна иметь коэффициент ($\mu_1 = 0 + 1$):

$$C = \bar{v}_0 \pm (\mu_1 \sqrt{g \left(\frac{\bar{\omega}}{B} + \frac{3}{2} \Delta H \right)}) \quad (3')$$

Для конкретных условий каналов с гидравлическим или электрическим авторегулированием действительные экспериментальные значения коэффициентов (μ и μ_1), кроме предельных, не известны. Необходимые объемы резерва воды в бьефах канала (для безразрывного соответствия между водоподачей и ее потреблением) зависят от времени перерегулирования, а последнее — от скорости перемещения волн. Поэтому получение в процессе экспериментальных и натурных исследований значений μ и μ_1 имеет большой практический интерес.

Рассмотрим вопрос об области применения гидравлических и электрических систем авторегулирования по уклонам дна бьефов канала.

Формулы (3') и (3'') справедливы для уклонов дна канала намного меньше критических, когда обратные отрицательные или обратные положительные волны используются в виде обратной гидравлической связи в бьефах систем авторегулирования.

При критических уклонах дна канала $i = i_{kr}$

имеем $\bar{H} = \bar{H}_{кр}$. Из условия критического состояния движения потока $\frac{Q^2}{g} = \frac{\bar{\omega}_{кр}^3}{\bar{B}}$ имеем $\frac{(\bar{\omega}_{кр} \cdot \bar{U}_{кр})^2}{g} = \frac{\bar{\omega}_{кр}^3}{\bar{B}_{кр}}$, или $\bar{U}_{кр} = \sqrt{\frac{g \bar{\omega}_{кр}}{\bar{B}_{кр}}}$, т.е. $\bar{U}_o = \bar{U}_{кр}$.

Значит, при обратной волне для ($u = 1$, из формулы (λ') находим скорость ее перемещения:

$$c = \bar{U}_{кр} - \sqrt{\frac{g \bar{\omega}_{кр}}{\bar{B}_{кр}}} = 0.$$

Таким образом, в канале с критическим уклоном дна (для данного расхода Q) даже для идеальной жидкости обратная волна вверх против течения потока продвигаться не может (т.е. волна, как бы стоит на одном месте - месте "возмущения").

В русле канала с уклоном дна больше критического (бурным режимом движения потока) обратная волна будет сноситься течением вниз, так как $\bar{U}_o = \bar{U}_{бур} > \sqrt{\frac{g \bar{\omega}_{бур}}{\bar{B}_{бур}}}$ и величина "С" положительна.

В то же время прямая волна для канала с критическим уклоном дна будет двигаться вниз по течению потока почти с удвоенной скоростью. В самом деле, из формулы (λ') при ($u = 1$):

$$c = \bar{U}_{кр} + \sqrt{\frac{g \bar{\omega}_{кр}}{\bar{B}_{кр}}} = 2 \sqrt{\frac{g \bar{\omega}_{кр}}{\bar{B}_{кр}}}.$$

В русле канала с уклоном дна больше критического, т.е. бурным состоянием потока, прямая волна будет иметь еще большую величину скорости перемещения.

Итак, исходя из зависимости (κ') при ($\mu = 1$, можем знать некоторые пределы скорости перемещения волн идеального потока в канале (таблица) *)

Таблица I

Случай	Уклон дна русла, i	Скорость потока, $\bar{v}_0$	Скорость перемещения волны "С"	
			обратной	прямой
I	$i < i_{кр}$	$\bar{v}_0 = \bar{v}_{сн} < \sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{сн}}{\bar{B}_{сн}}}$	$C = \bar{v}_{сн} - \sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{сн}}{\bar{B}_{сн}}},$ $C < 0;$	$C = \bar{v}_{сн} + \sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{сн}}{\bar{B}_{сн}}},$ $C > 0;$ $C < 2\sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{сн}}{\bar{B}_{сн}}}$
II	$i = i_{кр}$	$\bar{v}_0 = \bar{v}_{кр} = \sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{кр}}{\bar{B}_{кр}}}$	$C = \bar{v}_{кр} - \sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{кр}}{\bar{B}_{кр}}},$ $C = 0;$	$C = \bar{v}_{кр} + \sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{кр}}{\bar{B}_{кр}}},$ $C > 0;$ $C = 2\sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{кр}}{\bar{B}_{кр}}}$
III	$i > i_{кр}$	$\bar{v}_0 = \bar{v}_{суп} > \sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{суп}}{\bar{B}_{суп}}}$	$C = \bar{v}_{суп} - \sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{суп}}{\bar{B}_{суп}}},$ $C > 0;$	$C = \bar{v}_{суп} + \sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{суп}}{\bar{B}_{суп}}},$ $C > 0;$ $C > 2\sqrt{\frac{g\bar{\omega}_{суп}}{\bar{B}_{суп}}}$

Из таблицы видно, что скорость перемещения "С" обратной волны в зависимости от уклона дна бьефа с $Q_{макс}$ может быть отрицательной ($i < i_{кр}$) - с возможностью дви-

*)

Такую же таблицу можно составить для зависимости (ε').

жения против течения потока (вверх по бьефу), равной нулю ($i = i_{кр}$) - при отсутствии такой возможности, положительной ($i > i_{кр}$) - со смещением вниз по течению. Прямая волна всегда положительна и в зависимости от уклонов дна канала может приобрести величину скорости перемещения "С":

$$C < 2 \sqrt{\frac{g \bar{\omega}_{сн}}{B_{сн}}} \quad (i < i_{кр}); \quad C = 2 \sqrt{\frac{g \bar{\omega}_{кр}}{B_{кр}}} \quad (i = i_{кр}); \quad C > 2 \sqrt{\frac{g \bar{\omega}_{дур}}{B_{дур}}} \quad (i > i_{кр})$$

Таким образом, если в системах авторегулирования обратная гидравлическая связь существует только в бьефах канала с уклоном дна $i < i_{кр}$, то прямая гидравлическая связь имеется при любых уклонах их дна i . Отсутствие обратной гидравлической связи при уклонах дна бьефов канала $i \geq i_{кр}$ в системах авторегулирования восполняется обратной электрической, пневматической или другой. Исходя из изложенного выше, можно грубо выделить область применения систем гидравлического и электрического авторегулирований.

В русле бьефа канала с большими уклонами (с критическим и бурным состоянием потока) обратная волна к расположенному выше перегораживающему сооружению продвигаться не может (обратной гидравлической связи нет). В этом случае целесообразно использовать электрическую связь. Применение систем электровторегулирования для каналов горной и предгорной зоны (с большим уклоном дна русла и бьефов) наиболее приемлемо.

По сравнению с гидравлическим авторегулированием, системы электрического авторегулирования в каждом бьефе канала (даже с уклонами дна меньше или близкими к критическому) имеют незначительные необходимые резервные объемы регулируемой воды. Это происходит за счёт сокращения времени регулирования всей системы, в период которого резервные объемы должны обеспечить измененное питание водой выпусков канала. Факторами, сокращающими время регулирования системы, являются:

- а) передача "обратного воздействия" (возмущения) не гидравлическим путем, а электрической связью (сигналом), с продолжительностью времени которой можно пренебречь;
- б) подача волнового расхода воды с увеличенной скоростью при перемещении к выпускам, за счёт увеличения уклона дна бьефов канала и т.д.

Такие преимущества систем электроавторегулирования перед гидравлическими, в определенных условиях применения первых, требуют изучения не только работоспособности (особенно надежности) таких систем, их расчёта с экспериментальной проверкой, выяснения области их применения, но также и сочетания средств гидравлической и электрической автоматики.

Итак, гидравлические системы авторегулирования по ряду своих преимуществ могут получить применение при малых уклонах дна бьефов канала и сети, намного меньше критических (из французской практики пока известно при $i = 0,0001-0,0006$), а электрические — при уклонах меньше,

близко и больше критических.

Средства гидравлической автоматики можно использовать в самых различных типах как гидравлических, так и электрических систем авторегулирования (ограничение касается только ряда автоматов перегораживающих сооружений). Лучшим вариантом их применения является сочетание их со средствами электрической автоматики и телемеханики (по слаботочным линиям, с малой мощностью для их управления и т.д.).

Системы авторегулирования, обладая рядом преимуществ, имеют недостатки.

Общими и основными недостатками систем автоматического регулирования являются:

- а) наличие подпорно-переменного режима потока в каналах, что может привести к выпадению взвешенных, занесению донных наносов в их руслах;
- б) выход из строя хотя бы одного из устройств средств автоматики приводит к аварийному режиму работы системы, поэтому необходимо применять особо надежные регуляторы;
- в) относительное удорожание стоимости сети по сравнению с обычными и др.

Из французской практики известно, что для облицованных каналов с расходами воды в несколько десятков кубометров в секунду и уклонами $i = 0,0001 \div 0,0002$ стоимость системы регулирования по верхнему бьефу с помощью гидравлических средств автоматики увеличивается на 3-3,5% от общей стоимости сети и сооружений с оборудованием обычного типа. Каналы с системами гидравлического авторегулирования

по нижнему бьефу и смешанного типа имеют надбавку стоимости от 6 до 9% по отношению к таким же каналам, управляемым по верхнему бьефу.

Проработки института Средазгипроводхлопок в 1963г. по каналу ЮР-18-3 с расходами воды до $7,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ показали следующее. Чистое гидравлическое регулирование по верхнему бьефу с помощью средств автоматики по сметной стоимости канала, сооружений и оборудования принято за 100%. Системы гидравлического авторегулирования по нижнему бьефу составляют 106%, по смешанному типу - 122%, при наличии в них телеизмерения (ТИ) и телесигнализации (ТС) аварийных состояний соответственно 122 и 128%, а при наличии телеуправления (ТУ) - 129,5 и 135,5%.

Однако при этом значительно сокращаются ежегодные эксплуатационные затраты (в основном за счёт роста производительности труда обслуживающего персонала), уменьшаются или полностью ликвидируются сбросные расходы воды, и более оперативно выполняется план водопользования, что может благоприятно отразиться на мелиоративном состоянии орошаемых земель и позволит увеличить площади их орошения.

Поставленные задачи весьма актуальны и требуют быстрого их решения.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. СС. "Некоторые вопросы автоматизации оросительных систем", Изд. АН КиргССР, Фрунзе, 1963.
2. СС. "Автоматизация объектов ирригационных систем" Изд. "Илим", Фрунзе, 1964.
3. Оснащение ирригационных каналов, Механическое и гидравлическое оборудование, изготовляемое французской фирмой "Нейрпик" (Гренобль), Перевод с француз. языка, Ташкент, Узгипроводхоз, 1959.
4. Материалы III Международного Конгресса по ирригации и дренажу в 1957г. в г. Сан-Франциско, Вопрос 9, доклады 15, 16, 23.
5. Национальная компания по мелиорации района Нижней Роны и Лангедока Франции - Магистральный канал, Конкурс на способы применения затворов автоматического регулирования, Перевод с француз. языка, Ташкент, Средазгипроводхлопок, 1961.
6. Автоматические устройства для подачи и распределения оросительной воды, "Вопросы гидротехники", Будапешт, 1960, №3 (на венгер. языке).
7. Чарльз В. Томас - Водораспределение и измерение расходов воды в мировой практике,
Journal of the irrigation and drainage division ASCE, vol. 86, NIR 2, part 1, June 1960 j.

8. Г а р т у н г А.А., Х а м а д о в И.Б. Результаты исследований сегментных затворов-автоматов нижнего бьефа, "Вопросы гидротехники", вып. 22, Изд-во "Наука" УзССР, Ташкент, 1965.
9. Х а м а д о в И.Б., Х а м а д о в а Н.Ш. К вопросу истории развития автоматических водорегулирующих устройств, их классификации и выбора, "Вопросы гидротехники", вып. 16, Изд-во АН УзССР, Ташкент, 1968.
10. Х а м а д о в И.Б., Г а р т у н г А.А. Устройства гидравлической автоматики для автоматического регулирования расходов и горизонтов воды, "Вопросы гидротехники", вып. 32, Изд-во "Наука" УзССР, Ташкент, 1967.
11. О б р е з к о в В.И. Применение вычислительной техники в гидроэнергетических расчётах, Госэнергоиздат, М.-Л., 1963.
12. Т р и ф о н о в Е.К. Алгоритмы некоторых задач неустановившегося движения воды в длинных бьефах, Известия ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева, т.72, 1963.
13. Г е л ь ф а н д Р.Е. Расчёты неустановившегося движения в открытых руслах на электронно-вычислительных машинах, Сб. докладов по гидротехнике ВНИИГ, вып. 4, Л., 1962.
14. М а т е р и а л ы XI Международного конгресса МАГИ в 1965г. в Ленинграде, т. III.

15. П р и м е н е н и е математических методов и вычислительной машины в гидротехнике и мелиорации, Сб. "Обзорная информация", 1966г. № 2, М., Гипроводхоз, ЦБНТИ.
16. Ч е р т о у с о в М.Д. Гидравлика, Специальный курс, Госэнергоиздат, М.-Л., 1962.
17. Ч у г а е в Р.Р. Гидравлика, Госэнергоиздат, М.-Л., 1963.
18. К и с е л е в П.Г. Справочник по гидравлическим расчётам, Госэнергоиздат, М.-Л., 1961.
19. Х р и с т и а н о в и ч С.А., М и х л и н С.Г., Д е в и с о н Б.Б. Некоторые вопросы механики сплошной среды, М., Изд-во АН СССР 1938.
20. Х а м а д о в И.Б., З и н г о р н Ф.Я., О м Л.А.
Системы гидравлического авторегулирования на оросительных каналах,
"Гидротехника и мелиорация", 1967, №3.

И.Б.Хамадов , Л.А.Ом

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА И РЕЖИМЫ РАБОТ КАНАЛОВ С СИСТЕМАМИ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПО ВЕРХНЕМУ БЬЕФУ*)

Большая часть существующих и проектируемых ирригационных каналов регулируется по верхнему бьефу.

При наличии условий "командования" горизонтов воды канала над отводами, необходимое количество воды в выпуски забирается за счёт существующих глубин (напоров) установившегося режима движения потока в открытом русле. Подпорные перегородивающие сооружения на канале с затворами обычных типов (при отсутствии таких условий "командования") уменьшают диапазон колебания уровня воды перед ними, но поддерживать ими постоянный горизонт воды в верхнем бьефе трудно. Замена обычных затворов перегородивающих сооружений автоматами постоянного горизонта верхнего бьефа позволит поддерживать уровень воды перед ними на одних отметках и уменьшить диапазон изменения положений кривых свободной поверхности потока по всей протяженности бьефов канала. Применение автоматов расхода на выпусках дает возможность забирать необходимое и постоянное количество воды в отводы, независимо от колебания горизонтов и расходов в бьефах канала.

Таким образом, наличие средств гидравлической авто-

*) Статья представляет собой краткое изложение доклада, сделанного на Всесоюзной научно-технической конференции по гидротехнике в Москве 13-16 сентября 1965г., которая была организована Министерством мелиорации и водного хозяйства и ВДНХ СССР.

матики на сооружениях канала, управляемого по верхнему бьефу, позволит сократить число операций по регулировании параметров потока и достичь простоты в эксплуатации системы.

Отличительная особенность каналов, регулируемых с верхнего бьефа, при наличии средств автоматики - отсутствие обратной гидравлической связи между бьефами (для получения соответствия между расходами водопотреблением выпусков и подачей ее перегораживающими, головными сооружениями канала). Каждый бьеф канала работает самостоятельно: увеличение или уменьшение потребления воды в выпусках нижележащего бьефа не влияет на работу бьефа, расположенного выше и на водоподачу верхнего перегораживающего сооружения.

Обратная гидравлическая связь имеется в каналах с системами гидравлического авторегулирования по:

- а) нижнему бьефу,
- б) смешанному типу,
- в) способу сообщающихся уровней воды (поддержание постоянного перепада уровней бьефов).

В первых двух системах используются резервные объемы регулирования, сосредоточенные в бьефах, а в третьей - сосредоточенные по всему каналу.

Наиболее совершенна система закрытого напорного трубопровода, где вода в выпуски (например, гидранты) идет по потребности как из крана водопроводной сети. К сожалению, по сравнению с другими системами авторегулирования в открытых каналах, они дороже.

Таким образом, определение принципиальной схемы и ре-

жимов работы каналов с системой регулирования по верхнему бьефу (при наличии на сооружениях средств гидравлической автоматики) позволит выявить условия их применения, недостатки и преимущества по сравнению с обычными или другими типами систем гидравлического авторегулирования.

Рассматриваемому вопросу посвящены работы многих зарубежных и наших исследователей, которые косвенно или прямо касались различных его частей, но обобщения по системе в целом не имеется. Большие работы в этом направлении сделаны французской фирмой "Нейрпик".

В 1963г. "Средазгипроводхлопком" составлено проектное задание по совхозному распределителю ЮР-18-3 с автоматическим водораспределением в целинной части Голодной степи (инж. Ф. Я. Зингори, Л. А. Ом, Б. С. Плутно, А. А. Мансуров, А. И. Авдеев и др.).

В 1964г. лаборатория автоматизации гидромелиоративных систем САНИИРИ им. В. Д. Курина и отдел проектирования гидротехнических сооружений института "Средазгипроводхлопком" провели работу по обобщению принципиальных схем и режимов действий систем гидравлического регулирования каналов, управляемых по верхнему и нижнему бьефу, а также по смешанному типу.

Методика исследования заключалась в критической оценке рассматриваемого вопроса по существующей отечественной и зарубежной литературе, проектным проработкам, осуществленным проектам и наблюдениям за работой оросительных систем, а также в проведении ряда необходимых расчётов по интересующим частям вопроса.

В данной статье по системам регулирования каналов, управляемых с верхнего бьефа, кратко излагается следующее:

- а) принципиальная схема системы (характерные особенности ее, наличие и размещение сооружений с необходимым оборудованием);
- б) режимы работы как системы (при нормальной, избыточной, недостаточной водоподаче), так и средств гидравлической автоматики (в нормальных и аварийных их состояниях);
- в) комплекс необходимых специфичных гидравлических расчётов для таких систем;
- г) водомерность сооружений;
- д) возможность осуществления автоматического соответствия между водопотреблением и ее подачей;
- е) преимущества и недостатки системы;
- ж) его экономическая оценка.

Для систем регулирования, управляемых с верхнего бьефа, характерно следующее: в них нет обратной гидравлической связи между бьефами канала, и расход воды на головном сооружении регулируется, а на выпусках (с наличием "командования" горизонта воды верхнего бьефа) распределяется в соответствии с заранее установленным планом водопользования - подачей и потреблением воды (по намечаемым расходам).

Глубина потока канала или подпорный режим верхнего бьефа перегораживающих сооружений создает условия командования горизонтов для подачи воды в распределительные выпуски (с регулировочными затворами или без них).

Основные существующие и ряд проектируемых оросительных систем регулируются с верхнего бьефа гидросооружений; последние имеют затворы обычного ручного или моторного привода. Системы каналов, управляемые с верхнего бьефа, при автоматизации принципиально не отличаются от обычных, за исключением того, что перегораживающие сооружения имеют автоматы горизонтов верхнего бьефа, водовыпуски-автоматы расходов и концевая часть канала - автоматические сбросы. В особо ответственных случаях бьеф канала может иметь дополнительный автоматический сброс.

Если необходимо, предусматриваются мероприятия по реконструкции существующей системы.

Водовыпуски рационально располагать ближе к верхнему бьефу перегораживающего сооружения, где изменение уровня воды наименьшее и допустимы для работы автоматов расхода, а если возможно, совмещать их в одном распределительном узле.

При нормальном режиме работы канала (рис. 1) крайние линии горизонтов свободной поверхности потока в верхнем бьефе у перегораживающего сооружения пересекаются на глубине $H = const$ и по всему бьефу имеют два граничных положения. Первая кривая параллельна уклону дна бьефа (при Q_{max}), вторая - горизонтальная - параллельна нулевому уклону (при $Q = 0$), расположена она ниже первой. При этом при других промежуточных расходах ($0 < Q < Q_{max}$) кривые свободной поверхности потока бьефа лежат в "граничном треугольнике" (между ними), уменьшаясь по от-

1. Схематическое изображение по
схеме б. б. в. в. при нормальном состоянии
расхода воды, в. в. при срывных режимах
расхода воды, в. в. при срывном режиме в открытом
канале (11) "заклиненных"

допускается

При этом следует учитывать поверхность потока бьефов:

1 - для $Q = 0$, случай а); 2 - для

произвольных расходов $Q (0 < Q < Q_{\text{макс}})$;

3 - для $Q = Q_{\text{макс}}$, (3 - 1, случай в);

4, 5 - при максимальных их колебаниях за
перегораживающим сооружением и в створе

водовыпуска; 10 - при отсутствии сброса воды

из бьефа. Сооружения канала: 4 - перегородки-

рампы сооружения с автоматом горизонта воды

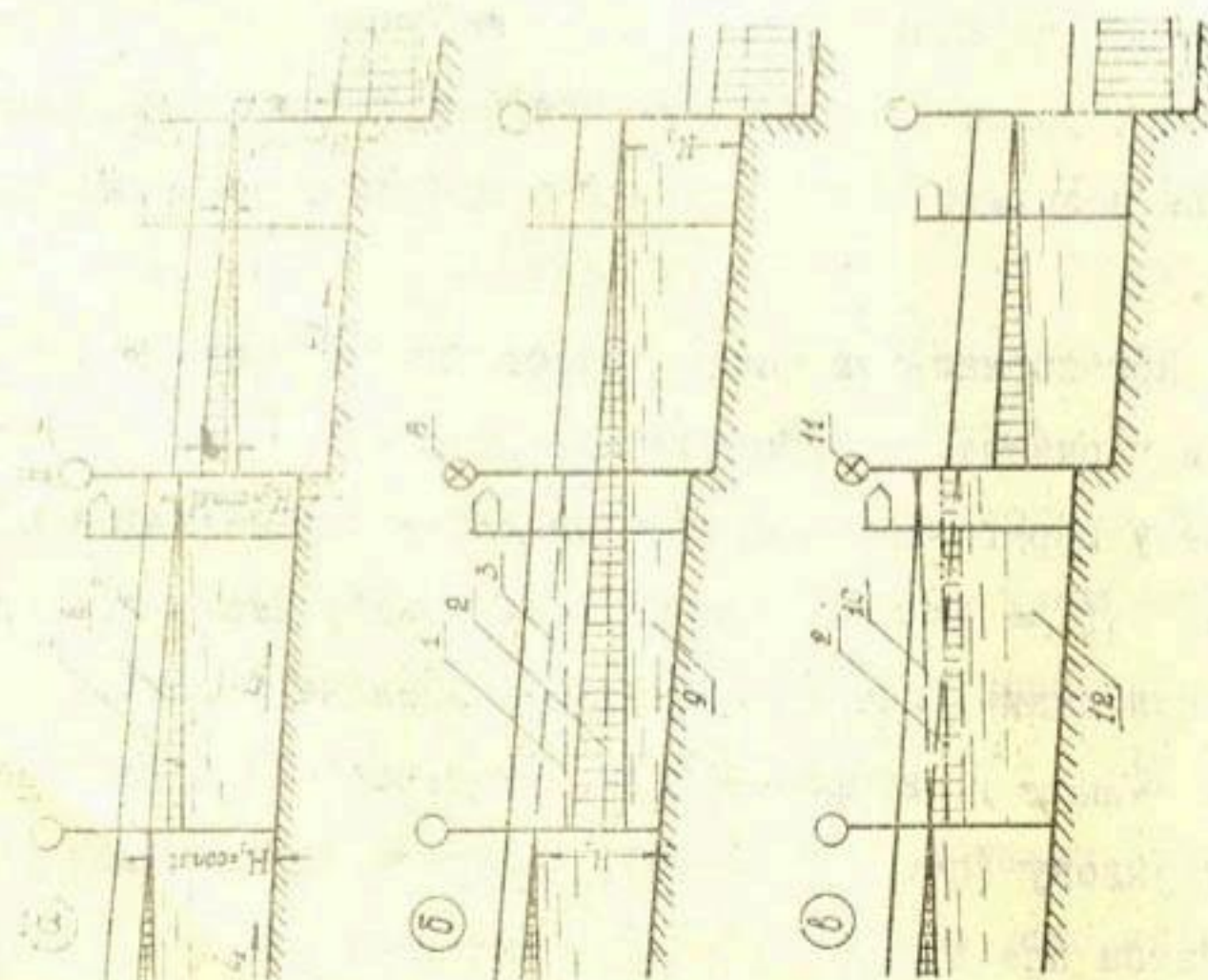
верхнего бьефа; 6 - водовыпуск с автома-

тикой расхода воды.

Бьефы: 9 - с потерей "командования" уровня

воды над выпусками; 12 - переполнения

водой.



меткам к нижерасположенному перегораживающему сооружению.

В зависимости от длины L бьефов канала, уклона дна i сооружение может иметь подпорно - переменный режим потока нижнего бьефа (с выходом кривой подпора и без нее).

При уклонах, более критических, имеем переходную зону от бурного состояния потока в спокойное, в виде гидравлического прыжка. Таким образом, в отличие от "классической" схемы расположения кривых свободной поверхности воды в бьефах канала, управляемого по верхнему бьефу, при отсутствии подпорно - переменного режима потока непосредственно за перегораживающими сооружениями (в длинных бьефах или бьефах с участками переменных больших уклонов дна) "граничный треугольник" может превратиться в изогнутую конфигурацию.

Режим работы средств гидравлической автоматики в аварийных их состояниях, а также самой системы регулирования по верхнему бьефу при избыточной и недостаточной водоподаче показаны на рис. 1б, в и рис. 2а, б.

При достаточной обеспеченности водой системы и нормальной работе других средств гидравлической автоматики аварийное состояние автоматов расхода на выпусках приводит к невозможности забора необходимого количества воды. Так это может произойти в период, когда изменяется потребляемое количество воды в выпусках: при "заклинённом" положении затвора, отказе сработки конечных выключателей (с телемеханическим приводом), отсутствии электроэнергии и т.д. Но учитывая, что изменение уставок постоянных расходов воды, осуществляемое электрическим приводом для получения

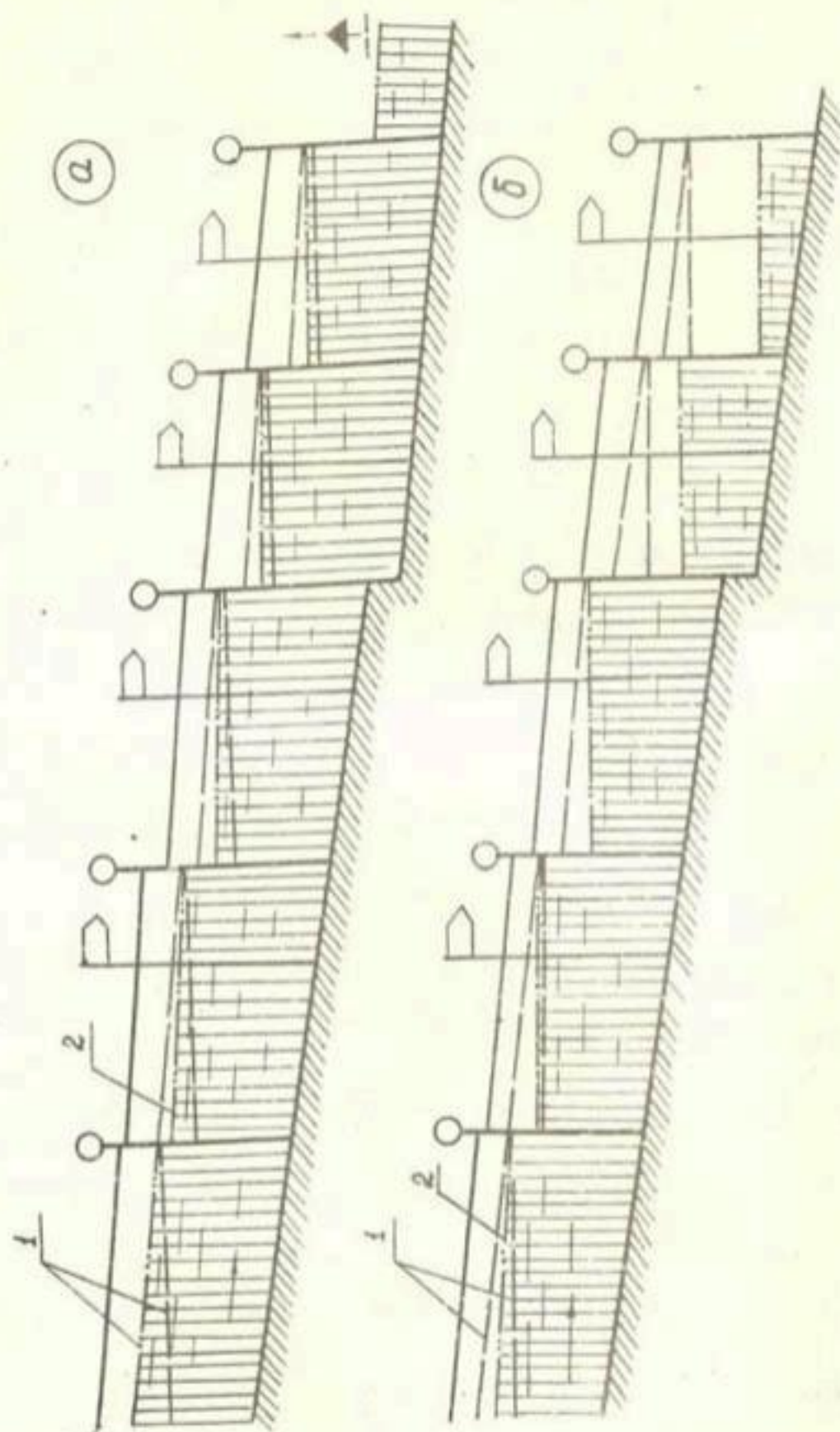


Рис. 2. Схема работы канала, управляемого по верхнему бьефу, при:
а - избыточной и б - недостаточной водобеспеченности.
Кривые горизонтов воды бьефов: 1 - "границные" при нормальном состоянии
работы системы; 2 - при промежуточных расходах воды Q .

различных открытий затворов-автоматов расхода, сочетается с механическим и что в настоящее время возможно использование наиболее надежных их конструкций и т.д., можно избежать аварийности в их работе.

Наиболее ответственное звено в таких системах являются гидравлические автоматы постоянных горизонтов воды верхнего бьефа перегораживающих сооружений канала. В аварийном случае, когда выходит из строя и "заклинивается" затвор-автомат сооружения в открытом положении (рис. 1б), необходимый горизонт воды в верхнем бьефе не поддерживается, и водовыпуски, относящиеся к этому бьефу, остаются без воды, а незабранный расход идет в сброс (из бьефа в бьеф по каналу до конечного сооружения). В случае "заклинивания" в приоткрытом или закрытом положении затвора перегораживающего сооружения (рис. 1в) и невозможности поднять его может произойти переполнение бьефа уровнем воды верхнего бьефа. Поэтому нужны или сбросные устройства, или выполнение других мероприятий.

Таким образом сброс из бьефа устраивается тогда, когда этого требует конструкция автомата перегораживающего сооружения или в особо ответственных случаях.

Рассмотрим случаи избыточной и недостаточной водоподачи системы.

Как говорилось выше, в каналах, управляемых по верхнему бьефу, нельзя добиться строгого соответствия между водоподачей головного сооружения и потреблением ее в выпусках канала из-за отсутствия "обратной гидравлической связи". В случае, когда количество поданной воды головным

сооружением (рис. 2а) превалирует над потреблением ее в выпусках (отказ их от части расходов), незабранная вода пропускается транзитом вниз по каналу (в сброс); в случае, когда воды подается мало (включение или увеличение расходов рядом водовыпусков, рис. 2б), вода забирается вышерасположенными по каналу водовыпусками за счёт расположенных ниже (наблюдается дефицит расходов).

Поэтому в лучших условиях по водообеспеченности находятся водовыпуски, расположенные в верховьях канала; низерасположенные получают воду после обеспечения ею верхних.

Перечислим комплекс гидравлических расчётов для таких систем регулирования, считая, что основные расчёты даны Техническими условиями, Указаниями и т.д.

Пусть проектируемый канал, в котором предлагается использовать систему управления по верхнему бьефу (с помощью гидравлических средств автоматики), имеет определенную трассу, продольный профиль и другие исходные данные, а также рассчитаны на определенные габариты b , m , i , n , H (согласно $Q_{\min}$, $Q_{\text{норм}}$, $Q_{\max}$, потреблению водовыпусков, концевому сбросу, потерям и т.д.). Тогда для рабочего проектирования канала, кроме основных, потребуется проведение расчётов, которыми необходимо определить:

а) местоположение перегородивающих сооружений, выпусков по длине канала с обеспечением условий как "командования" канала (при $Q_{\min}$ и $H_{\min}$) над отводами, так и незаиляемости;

б) кривые свободной поверхности максимальных расходов воды в бьефах канала (при наличии подпорно-перегораживающих и других сооружений) и строительную высоту дамб как канала, так и сооружений, а также соответствия условиям неразмываемости канала;

в) пропускную способность и габариты водопроводящих отверстий головного, перегораживающих и сбросных сооружений канала;

г) обеспеченность диапазонов забора потребным количеством воды в выпусках с помощью автоматов расхода, позволяющих подавать и измерять постоянные расходы (при допустимых колебаниях уровня воды верхнего бьефа - ΔH и перепадах - $\chi_{мин}$);

д) необходимость в устройстве концевого сброса, и, в особо ответственных случаях, других аварийных сбросных сооружений с автоматами;

е) типоразмеры и габариты конструкций, а также соответствующую работу автоматических средств на сооружениях, отвечающих ряду требований [3] ;

ж) возможность использования методов и средств гидрометрии, обеспечивающих водомерность и автоматический учёт воды на сооружениях;

з) возможность отложения наносов в бьефах и методы борьбы с этим явлением и т.п.

При этом необходимо особое внимание уделить расчётам гидравлических режимов работы каждого сооружения канала, соответственно типу действия систем регулирования. В свою

очередь, правильно подобранный автомат на сооружении должен своими циклами действий осуществлять поддержание этих необходимых режимов уровней и расходов воды на нем [6].

В каналах с такой системой регулирования, кроме транзитных гидрометрических постов, водомерными должны быть сооружения: головные, концевые, если необходимо - ряд перегораживающих, сбросных и обязательно водовыпуски.

Автоматы выпусков канала в лучшем случае должны иметь возможность установления постоянных расходов воды (по шкале или телемеханически) на основании зависимости

$$Q = f(\alpha), \text{ где } \alpha - \text{открытие затвора [1,4].}$$

В виду того, что величина $H = \text{const}$, то головное, перегораживающее, концевые сооружения канала должны иметь функции определения расхода:

а) только при свободном истечении потока в нижний бьеф $Q = f(\alpha)$ или $Q = f(\alpha)$, где α , α соответственно линейное, угловое открытия автомата-затвора (при сифонной конструкции α и α заменяются величиной изменения вакуума);

б) при переменном-подпорном режиме нижнего бьефа $Q = f(\alpha, h)$ или $Q = f(\alpha, h)$ получаемых при тарировке или в лабораторных условиях, где h - глубина воды нижнего бьефа, или, наконец,

$Q = f(\chi_n)$ в зависимости от водомерного перепада давления потока χ_n . Величина χ_n определяется с помощью водомерных сооружений типа "приставки", "забрала", "ребра в стенке отверстия", "кольца" и т.д.) и приборов

автоматического учёта воды (ДРС, СВН, Глубышева, ИМА и др.)

[2].

Идеальный случай работы такой системы, — когда расход воды, отрегулированный в голове канала равен сумме расходов всех водовыпусков (с учетом потерь на фильтрацию, испарение и т.д.). Такое условие очень трудно осуществимо без "обратной связи". Поэтому для полной автоматизации системы регулирования по верхнему бьефу, чтобы она могла работать без дефицитов и сбросов, необходимо осуществление на ней "обратной электрической" или другой связи. Тогда соответствия между количеством поданной воды и потреблением ее (плюс потери воды на фильтрацию, испарение) можно достигнуть при учёте времени добегания волновых расходов от головного сооружения к выпускам с измененными расходами, а также периодов формирования подпорных кривых свободных поверхностей потока в бьефах и сработки автоматов перегораживающих сооружений, водовыпусков.

При оснащении сооружений (головы канала, перегораживающих, сбросных и водовыпусков) средствами автоматики, система регулирования по верхнему бьефу, имеет п р е и м у щ е с т в а перед обычными. Она отличается:

1) простотой в эксплуатации и меньшим количеством операций регулирования.

Автоматы перегораживающих сооружений поддерживают постоянный уровень в верхнем бьефе и имеют ряд кривых подпора на некотором участке длины бьефа от сооружения

в зависимости от расходов воды канала. При правильном выборе на сооружении таких устройств не требуется изменения уставок горизонта верхнего бьефа. Вода в отвод канала подается автоматами выпусков путем обычного или телемеханического изменения их уставок постоянных расходов;

2) точностью и надежностью регулирования расходов воды (по "намеченным расходам") в соответствии с планом водопользования.

Соответственно количеству потребляемой воды выпусками (с учётом коэффициента полезного действия канала) расход ее на головном сооружении регулируется изменением положения затвора (обычным способом или авторегулятором).

При достаточной обеспеченности водой изменение уставок расходов одних водовыпусков не отражается на получаемых расходах других, так как излишний расход будет отведен в сброс канала;

3) отмечаются сравнительно малые потери воды на сброс по каналу, особенно при установившемся режиме работы системы.

Автоматические затворы верхнего бьефа перегораживающих сооружений при прекращении подачи воды в канал препятствуют полному опорожнению бьефов. Объемы резервов регулирования воды в бьефах соответствуют проходящим расходам канала. Увеличенному расходу соответствует больший резервный объем воды в бьефе и наоборот;

4) наличие на автоматах расхода (водовыпусков канала) ограничителей подъема затвора, позволяющих распределять воду по плану водопользования.

Установка ограничителя подъема затвора позволяет за-

брать любое количество воды, но не выше расходов установленного планом водопользования на данный период.

Указанная система имеет и недостатки:

а) отмечается самостоятельность в работе каждого бьефа канала и отсутствие "обратной гидравлической связи" между бьефами, а в конечном итоге - водовыпусками и головным сооружением.

Соответствие между водопотреблением и подачей ее головным сооружением осуществляется обслуживающим персоналом по "намеченным расходам" малооперативным способом (объездом, по телефону и т.д.);

б) потери или дефицит расходов по каналу значительны при перерегулировании системы и ненормальном режиме работы (при значительной подаче или нехватке расходов воды), они также не исключены даже при нормальном режиме работы канала;

в) в лучших условиях гарантированной водообеспеченности находятся водовыпуски, расположенные в верхней части канала.

Лишь после полного удовлетворения в потребности водой выпусков, расположенных близко к головному сооружению, новый расход дойдет до выпусков, находящихся в нижней части канала. Поэтому в эксплуатационных условиях регулирование системы по "намеченным расходам" (при изменении потребности в воде) легче производить водовыпусками "сверху вниз". При этом будут наблюдаться некоторые потери воды на сброс до устойчивого режима работы системы. При

регулировании же водовыпусками "снизу вверх" необходимо знать время добегания волновых измененных расходов воды. Если эти периоды времени не известны, то переменные расходы, особенно в верхних водовыпусках, могут влиять на включение и установление расходов нижних. Уменьшение потребления воды нижележащими выпусками приводит к тому, что неиспользованная вода полностью идет на сброс.

Стоимость автоматизированной системы регулирования по верхнему бьефу (при наличии средств гидравлической автоматики) увеличивается на 3-3,5%, по сравнению с обычными системами каналов.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Хамадов И.Б., Гартунг А.А. Устройства гидравлической автоматики для автоматического регулирования расходов и горизонтов воды, "Вопросы гидротехники", вып.32, Изд.-во "Наука" УзССР, Ташкент, 1967.
2. Хамадов И.Б., Краснов В.Е. Автоматизированный учет воды на оросительных системах с помощью водомерных сооружений типа приставки и динамического расходоуказателя "ДРС-60", (там же).
3. Хамадов И.Б., Хамадова Н.Ш. К вопросам истории развития автоматических водорегулирующих устройств, их классификации и выбора, "Вопросы гидротехники", вып.16, Изд.-во АН УзССР, Ташкент, 1963.

4. Хамадов И.Б., Гартунг А.А. Автоматические затворы с постоянным расходом воды для водовыпусков оросительных каналов, "Гидротехника и мелиорация", 1966г., №8.
5. Хамадов И.Б., Эйнгорн Ф.Я., Ом Л.А. Системы гидравлического авторегулирования на оросительных каналах, "Гидротехника и мелиорация", 1967г., № 3.
6. Хамадов И.Б., Шаров В.В. Необходимые гидравлические режимы, циклы работ затворов-автоматов горизонтов и расходов воды для систем регулирования, "Вопросы гидротехники", вып. 35, Ташкент, 1967г. (находится в печати).

Хамадов И.Б., Ом Л.А., Плутно Б.С.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА И РЕЖИМЫ РАБОТЫ КАНАЛОВ С
СИСТЕМАМИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АВТОРЕГУЛИРОВАНИЯ ПО
НИЖНЕМУ БЬЕФУ *)

За рубежом известно использование на оросительных каналах некоторых типов систем гидравлического авторегулирования [1,2,3,4,5 и др.].

В Советском Союзе значительные работы проведены по разработке систем электрического авторегулирования на каналах.

Недостаточность отечественного опыта проектирования, строительства и отсутствие опыта эксплуатации систем гидравлического авторегулирования ирригационными каналами требуют дальнейшей разработки этого вопроса для выработки конкретных и обоснованных рекомендаций. В настоящее время этим занимается ряд институтов страны.

В 1963г. Средазгипроводхозом составлено проектное задание по совхозному распределителю ЮР-18-3 в целинной части Голодной степи.

Институт автоматики АН КиргССР дал ряд теоретических решений по статическому и динамическому расчету регулирова-

*) Статья представляет собой краткое изложение доклада, сделанного на Всесоюзной научно-технической конференции по гидротехнике в г.Москве 13-16 сентября 1965г. организованной Министерством мелиорации и водного хозяйства и ВДНХ СССР.

ния таких систем [6,7,8 и др.], и в настоящее время совместно с Укргипроводхозом он проводит опытно-производственные исследования на одном из участков рисовой оросительной системы в Крыму.

Отдел проектирования гидротехнических сооружений института Средазгипроводхлопок и лаборатория автоматизации гидромелиоративных систем САНИИРИ им.В.Д.Муриня в 1964 г. провели работу по обобщению принципиальных схем и режимов работы систем гидравлического авторегулирования для магистральных каналов крупных хозяйств хлопководческого направления. Задачами анализа систем авторегулирования на ирригационных каналах, управляемых по нижнему бьефу, были:

- а) особенности и принципиальная схема системы (наличие и размещение сооружений с необходимым оборудованием) ;
- б) режимы работы как системы (при нормальной, избыточной и недостаточной водоподаче), так и средств гидравлической автоматики (в нормальных и аварийных их состояниях) ;
- в) комплекс специфических гидравлических расчетов таких систем ;
- г) водомерность сооружений канала ;
- д) осуществление автоматического соответствия между водоподачей и ее потреблением ;
- е) преимущества и недостатки изучаемых систем ;
- ж) их экономическая оценка.

Методика исследований состояла в критической оценке рассматриваемого вопроса по существующей отечественной, зарубежной литературе, проектным проработкам, а также в проведении ряда необходимых расчетов и обобщений по интересующим разделам.

Системы, где все процессы перерегулирования воды в канале, вызванные изменением потребляемых расходов в отводах, должны производиться автоматически, благодаря достаточным резервным объемам наполнения или опорожнения воды в бьефах, расположенных выше точек потребления, и гидравлическим связям между бьефами (прямой и обратной), осуществляемым устройствами, поддерживающими постоянные горизонты воды в нижнем бьефе перегораживающих сооружений, называются системами управляемыми по **н и ж н е м у б ъ е ф у**.

Головное и перегораживающие сооружения канала, запроектированного по такой системе управления, оснащаются автоматами горизонта воды нижнего бьефа, водовыпуски - автоматами расхода, каждый бьеф канала - автоматическими сбросами.

Если регулируемый канал является разгрузочным по отношению к каналу старшего порядка (при его "паводковом" или аварийном режиме), то головное сооружение регулируемого канала оснащается затвором-автоматом смешанного регулирования ($H_{\min} = \text{const}$, $H_{\max} = \text{const}$ или $h_0 = \text{const}$) ; если же он не должен выполнять эту функцию - автоматом нижнего бьефа.

Конечный бьеф (в конце канала) должен быть "тупиковым"

с автоматическим сбросом и выпусками или должен иметь перегораживающее сооружение с автоматом регулирования горизонта воды в верхнем бьефе. Применение автомата, начинающего работать при достижении определенного допустимого постоянного горизонта воды перед ним, предотвратит переполнение бьефа и позволит совместить в конечном перегораживающем сооружении функции защиты и сброса воды.

Дополнительные автоматические сбросные сооружения в рассматриваемых системах авторегулирования осуществляют сброс из каждого бьефа. При этом сброс воды производится в параллельный канал по отношению к основному - в сбросные каналы, в коллекторно-дренажную сеть и т.д., или, когда эти варианты экономически не выгодны, перегораживающие сооружения канала наряду с автоматами горизонтов нижнего бьефа могут иметь (или совмещать в конструкции) автоматические сбросы. В последнем случае вода сбрасывается из бьефа в бьеф только по максимальному горизонту верхнего бьефа. Тогда рассматриваемая система авторегулирования представит собой некоторую неполноценную разновидность системы смешанного авторегулирования.

Первая система авторегулирования, не выполняя всех функций второй, имеет в основном перегораживающие сооружения и отдельные автоматические сбросы с оборудованием, которые уступают по стоимости тем же перегораживающим сооружениям с автоматами смешанного действия. Таким образом, система управляемая по нижнему бьефу, позволяет использовать и вышеуказанный вариант совмещения автоматов регулирования уровня воды в нижнем бьефе с автоматическими сбросами ее из бьефа

в бьефе (до концевой части канала).

Вода из бьефов канала в водовыпуски подается с помощью автоматов постоянного расхода. Такие автоматы, рассчитанные на пропуск определенных максимальных расходов воды, должны обладать способностью изменять установки промежуточных значений постоянных расходов (открытием затвора) и "перекрывать" своими допустимыми диапазонами применения как возможные колебания горизонтов воды в канале (в зависимости от местоположения водовыпуска, особенно в нижерасположенной части бьефов с переменнo-подпорным режимом), так и минимальные перепады уровней бьефов, существующих в отводе (т.е. разности отметок минимальных горизонтов воды в канале и уровня ее в нижнем бьефе отвода при заборе максимального расхода в выпуск). Кроме того, эти автоматы должны иметь ограничители подъема затвора, позволяющие получить расход воды в отводы не выше предусмотренного планом водопользования [9].

Водовыпуски в такой системе рационально располагать ближе к нижнему бьефу перегораживающего сооружения, где колебание уровня воды наименьшее, или устанавливать их на таком расстоянии бьефа канала, при котором изменения горизонтов допустимы для работы автомата расхода.

Затворы-автоматы нижнего бьефа перегораживающих сооружений канала должны пропускать максимальный расчетный расход $Q_{\max}$ и поддерживать постоянный уровень воды за ними, которому соответствует глубина равномерно установившегося движения потока $h = h_0$ с наибольшим

расходом. Поддержание автоматом уровня воды $h_0 = const$ при промежуточных расходах (меньше Q_{max}) возможно лишь при подпорном режиме нижележащего перегораживающего сооружения. Если затвор-автомат будет поддерживать меньшую постоянную глубину потока нижнего бьефа, чем h_0 , то затвор не пропустит намеченного максимального расхода воды.

При начале работы канала (заполнение его водой) затворы-автоматы нижнего бьефа автоматически должны находиться в полностью открытом состоянии, так как только по мере заполнения бьефов водой от ниже к вышерасположенным начинает работать вся система авторегулирования. Автоматы могут оставаться и в закрытом положении, но тогда необходимо условие - обязательная их сработка (открытие) после достижения водой определенного горизонта в верхнем бьефе (например, как в конструкциях Э.Э.Маковского [6,7] и др.).

Таким образом, принципиальная схема канала (рис. 1, а), с такой системой гидравлического авторегулирования, должна иметь:

а) бьефы с уклонами дна канала меньше критических (исключая напорные трубчатые части перегораживающих сооружений) с целью получения обратной гидравлической связи между ними в виде волновых возмущений, перемещающихся из бьефа в бьеф от выпусков с измененным водопотреблением до головного сооружения, чтобы соответственно изменить его водоподачу;

б) достаточные резервные объемы наполнения и опорожнения в бьефах соответственно максимальным расходам при одновременном включении или закрытии автоматов выпусков, которые

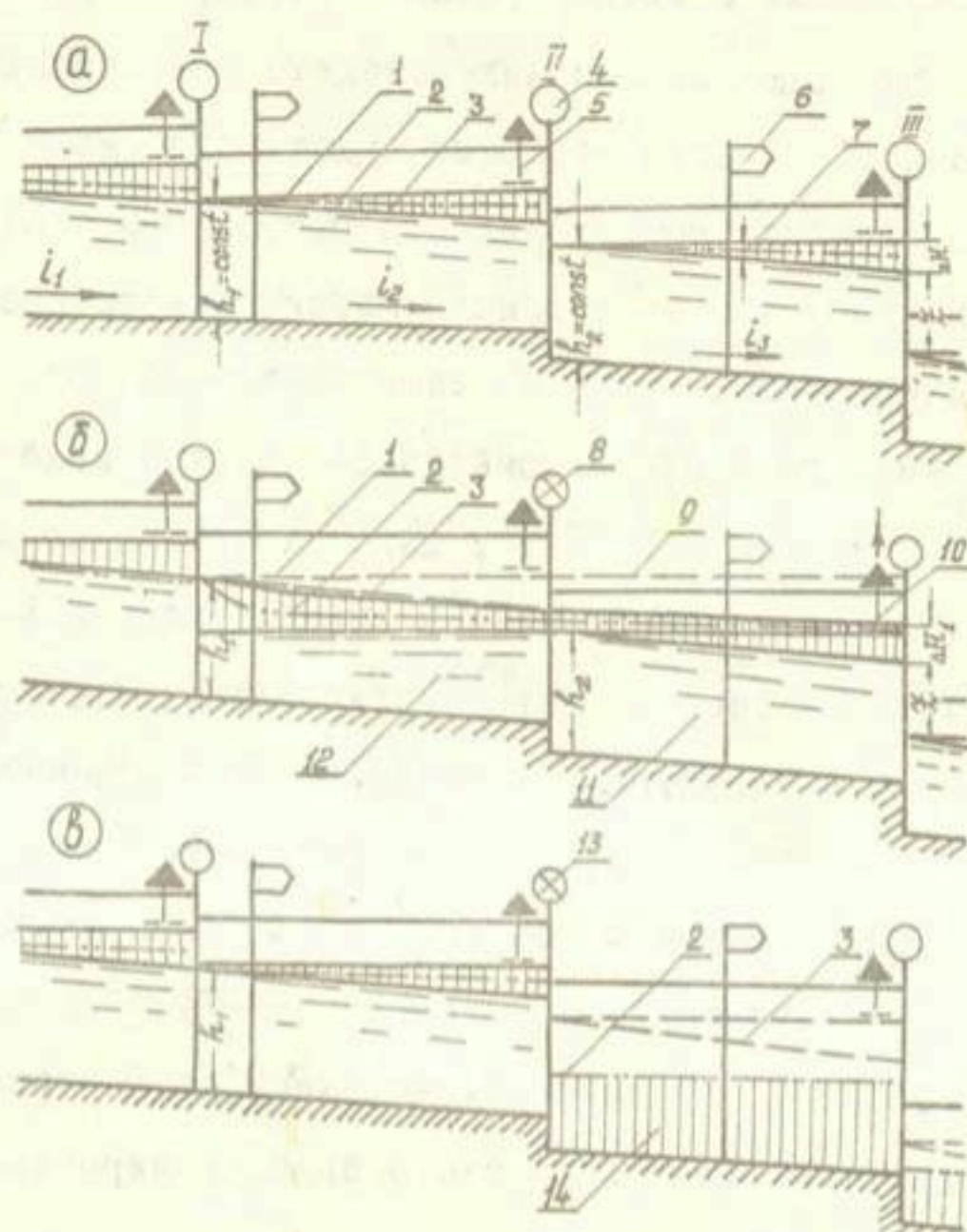


Рис. 1. Схема канала, управляемого по нижнему бьефу, при нормальном состоянии работы системы (а); аварийных режимах работы автоматов нижнего бьефа в открытом (8) и закрытом (13) их "заклиненных" положениях (б, в).

Кривые свободной поверхности потока бьефов: I - для $Q = 0$ ($J = 0$, случай а); 2 - для промежуточных расходов $Q (0 \leq Q \leq Q_{\text{макс.}})$; 3 - для $Q = Q_{\text{макс.}}$ ($J = l$, случай а); 7 - при максимальном их колебании в створе выпусков; 9 - при отсутствии сброса.

Сооружения канала: 4 - перегородки с автоматами регулирования постоянного горизонта воды в нижнем бьефе; 5 - автоматический сброс; 6 - выпуски с автоматами расхода воды; 10 - автомат сброса (включен).

Бьефы: 11 - переполняемые водой (при отсутствии сброса 10); 12 - с потерей "командования" уровня воды над выпусками; 14 - опорожняемые.

компенсируют разницу между водоподачей головного сооружения и суммой водопотребления выпусков при автоматическом переходе с одного установившегося режима канала (с одним соответствием расходов) на другой (с другим их соответствием) ;

в) автоматы регулирования постоянного горизонта воды нижнего бьефа на головном и перегораживающих сооружениях ;

г) автоматы, поддерживающие постоянные расходы воды на выпусках ;

д) автоматические сбросы воды из бьефов ;

е) в отдельных случаях - концевые "тупиковые" бьефы канала (с водовыпусками или без них или с автоматами верхнего бьефа) .

При нормальной работе системы крайние линии горизонтов свободной поверхности потока в нижнем бьефе перегораживающих сооружений пересекаются и по всей протяженности бьефа схематично имеют два граничных положения. Первая кривая $h_{max} = h_0 = \text{const}$ (при Q_{max}) параллельна уклону дна канала, вторая (H), горизонтальная, с нулевым уклоном водной поверхности (при $Q = 0$) располагается выше первой. При этом при промежуточных расходах ($0 < Q < Q_{max}$) кривые свободной поверхности потока располагаются в "граничном треугольнике", величина подпора которой увеличивается по глубине при перемещении вниз по бьефу (к нижерасположенному перегораживающему сооружению) .

При замене обратной гидравлической связи между бьефами канала другими видами ее - электрической, пневмо-гидравлической и т.д.-этот "граничный треугольник" кривых свободной поверх-

ности потока в бьефах может быть сокращен по резервному объему воды и смещен вниз по участку бьефа (особенно при больших переменных уклонах дна), а также видоизменен по конфигурации. Объемы бьефов канала систем автоматического регулирования, которые опорожняются или наполняются при изменениях режимов, водопотребления выпусков канала и водоподачи расположенного выше перегораживающего (или головного) сооружения, назовем резервными объемами воды бьефов.

Всякий расход воды канала, регулируемый по определенному типу, в данном случае (по длине бьефа) имеет свои, соответствующие только ему, кривые свободной поверхности потока $H = f(Q, l)$ или $h = f(Q, l)$. Таким образом, для каждого проходящего расхода воды в канале (с установившейся зависимостью между водоподачей и ее потреблением) будем иметь в рассматриваемом бьефе соответствующие ему резервные объемы воды.

Под максимальным резервным объемом воды бьефа подразумеваем максимально заполняемый водой объем бьефа в русле канала между предельными положениями кривых свободных поверхностей (при нормальных условиях работы канала, действующей по какой-либо системе регулирования). В зависимости от типа регулирования автоматом постоянного гидравлического параметра потока (по нижнему бьефу, верхнему и т.д.) каждый рассматриваемый бьеф имеет свой, соответствующий только этому типу, максимальный резервный объем воды.

При уменьшении расходов воды в выпусках канала (отказ) в некоторый период водоподача превышает над ее потреблением; тогда резервный объем бьефа наполняется водой. Этот резервный объем называется **о б ъ е м о м н а п о л - н е н и я** бьефа водой.

При увеличении расходов потребления воды в выпусках канала (включение) некоторое время вода подается недостаточно - потребление превалирует; тогда резервный объем бьефа опорожняется. Этот резервный объем воды опорожняемого бьефа называется **о б ъ е м о м о п о р о ж н е н и я**.

Поэтому резервные объемы наполнения или опорожнения воды бьефа характеризуются уменьшением или увеличением расходов водопотребления выпусков, т.е. когда говорим о резервных объемах наполнения или опорожнения, то должны сказать, какому диапазону изменения расходов водопотребления они соответствуют.

В системе авторегулирования по нижнему бьефу при максимальном расходе воды канала (при максимальном потреблении ее в выпусках) отмечается минимальное (почти нулевое) использование резервных объемов опорожнения. Для минимального расхода воды (при почти полном неупотреблении ее выпусками канала) существуют максимальные неиспользуемые резервные объемы наполнения водой бьефов.

Таким образом, в тот момент, когда потребности в расходах становятся наибольшими, канал работает в наилучших условиях. Все это приводит к увеличению резервных объемов воды в бьефах и удорожанию стоимости канала.

При промежуточных расходах ($0 < Q < Q_{\text{max}}$) в бьефах наблюдается регулирование обоих видов резервных объемов в зависимости от режима водопотребления выпусков. Оба вида резервных объемов воды в бьефах должны обеспечить немедленное увеличение или уменьшение измененного постоянного расхода потребления выпусками за время перерегулирования системы с получением нового соответствия расходов подачи воды.

Система в нормальных условиях работает без сбросов. Последние вызываются при аварийных случаях работы автоматов регулирования постоянного уровня воды в нижнем бьефе перегораживающих сооружений, а также избыточной водоподаче (например, попадания ливневых вод и т.д.) в систему, бьеф.

При изменении расходов водопотребления выпусками канала система из одного установившегося режима (определенного соответствия величин расхода в головном сооружении канала и суммы расходов в водовыпусках с учетом потерь) автоматически переходит в новый установившийся режим и состояние (с другим соответствием величин расходов). Процесс этого перехода характеризуется неустановившимся режимом и волновым движением потока в бьефах.

Процесс переходного режима авторегулирования системы (с обратной и прямой гидравлическими связями), вызванный изменением расходов потребления воды, очень разнообразен. Могут наблюдаться, например, следующие случаи:

а) полное неиспользование воды одним или несколькими водовыпусками (уменьшение расходов потребления) ;

б) включение одного или нескольких водовыпусков (увеличение расходов потребления) ;

в) уменьшение расходов потребления воды одними водовыпусками и включение других ;

г) аварийное состояние работы одного или нескольких затворов-автоматов нижнего бьефа перегораживающих сооружений - "заклинивание" (отсутствие возможности автоматического изменения положения затвора) ;

д) наличие указанных выше случаев "а", "б", "в" при избыточной водоподаче (в систему или бьеф) ;

е) те же случаи при недостаточной обеспеченности источника водой и подаче расходов ее в головное сооружение канала ;

ж) недостаточность резервных объемов наполнения или опорожнения воды, в связи с увеличением максимальных расходов при одновременном включении или закрытии выпусков, чем предусмотрено расчетом, и т.д.

Рассмотрим случаи "а", "б", "в" при нормальной работе канала, управляемого по нижнему бьефу и полной водообеспеченности его головного сооружения (согласно плану водопользования) .

При уменьшении (отказ) расходов воды у определенного числа водовыпусков одного бьефа резервные объемы наполняются водой (соответственно убавлению расхода потребления) . В этом случае образуется обратная положительная волна (волна подпора), которая, дойдя до вышерасположенного перегораживающего сооружения, заставляет затвор-автомат его

прикрыть подщитовое отверстие и уменьшить поступление воды в бьеф. Такой процесс регулирования происходит по направлению вверх из бьефа в бьеф до головного сооружения. При этом сразу за затворами (после их сработки) образуются прямые отрицательные волны (отлив), которые перемещаются вниз.

При включении определенного числа водовыпусков одного бьефа резервный объем воды в канале уменьшается (соответственно увеличению расходов потребления). При этом образуется обратная отрицательная волна (волна излива), которая, дойдя до вышерасположенного перегораживающего сооружения, заставляет затвор-автомат его приоткрыть подщитовое отверстие и увеличить поступление расхода воды в бьеф и далее вверх из бьефа в бьеф до головного сооружения. При этом сразу за затворами (после их сработки) образуются прямые положительные волны наполнения, которые перемещают вниз по каналу дополнительные волновые расходы.

Объемы наполнения и опорожнения бьефов водой, как говорилось выше, должны быть достаточными для автоматического регулирования системы и перехода ее из одного установившегося режима в другой, т.е. резервные объемы (наполнения или опорожнения) воды в бьефах канала должны обеспечить подачу измененных (но постоянных по величине) расходов воды в выпуски за время полного перерегулирования системы на новый установившийся режим (за периоды времени подачи волновых "возмущений", сработки и регулирования автоматов нижнего бьефа, изменения положения уставки автоматов

расхода, а также формирования кривых подпора потока в бьефах).

Время осуществления прямой и обратной гидравлической связи системы зависит от величин скорости перемещения волн и волновых расходов в бьефах.

Период времени сработки затвора-автомата и регулирования им уровня воды зависит от его конструктивных особенностей, качества изготовления, монтажа, скорости его перемещения, надежности, точности его работы и т.д.

Время изменения уставки (положения затвора) автомата расхода зависит от типа привода (ручной, моторный и т.п.), т.е. скорости подъема щита и других факторов. Причем, отрезки времени сработки и регулирования автоматов постоянных горизонтов воды, а также изменения уставки автоматов расхода малы по сравнению с величиной периода времени регулирования возмущенных бьефов, перемещения волн, волновых расходов по бьефу и из бьефа в бьеф, взятых вместе.

Определение необходимых резервных объемов при опорожнении бьефов (при включении выпусков) имеет большее значение, чем объемов воды при наполнении их (при отказе от такого же расхода). При закрытии выпусков горизонт воды в бьефе не может подняться выше кривой ($J = 0$); в противном случае затвор перегораживающего сооружения перестает пропускать воду. Поэтому расчет первых объемов воды в бьефах имеет больший интерес, чем вторых.

Резервные объемы опорожнения и наполнения бьефов водой зависят от процентов расходов при одновременном включении ($\eta_{вкл}$) и закрытии (отказе $\eta_{отк}$) водовыпусков

(проценты берутся от нормального расхода $Q_{\text{норм}}$ для рассматриваемого бьефа или всего канала). Чем значительнее по величине значения $\eta_{\text{вкл}}$ и $\eta_{\text{отк}}$, тем больше необходимые объемы опорожнения и наполнения бьефов канала водой и наоборот. Поэтому основными расчетными характеристиками резервных объемов регулирования воды в бьефах (для канала с определенными расходами $Q_{\text{мин}}$, $Q_{\text{норм}}$, $Q_{\text{макс}}$, габаритами и гидравлическими параметрами) являются проценты одновременного увеличения $\eta_{\text{вкл}} \cdot Q_{\text{норм}}$ и уменьшения $\eta_{\text{отк}} \cdot Q_{\text{норм}}$ потребляемых расходов воды в выпусках.

Если для данных габаритов и гидравлических параметров проектируемого канала резервные объемы бьефов зависят от i и L (уклона дна бьефов, расстояния между перегородивающими сооружениями), то назначение самих величин i и L в значительной степени зависит от принятых значений $\eta_{\text{вкл}}$ и $\eta_{\text{отк}}$. Величины $\eta_{\text{вкл}} Q_{\text{норм}}$ и $\eta_{\text{отк}} Q_{\text{норм}}$ определяют промежуточные и максимальные значения резервных объемов наполнения или опорожнения, которые в свою очередь являются эксплуатационными характеристиками бьефов канала.

Таким образом, максимальные расходы при одновременном включении или закрытии выпусков канала и время, необходимое для перерегулирования системы при изменении потребления воды, являются расчетными характеристиками резервных объемов, а сами резервные объемы — эксплуатационными характеристиками.

т и к а м и регулирования воды в бьефах канала. Эти характеристики, в свою очередь, определяют строительную стоимость как бьефов, так и канала с сооружениями. Поэтому выбор экономического варианта разбивки бьефов канала в сильной степени зависит и от обоснованно выбранных максимального процента одновременного включения $\eta_{вкл}$ и закрытия (отказа $\eta_{отк}$) водовыпусков. Первая величина имеет первостепенное значение.

Величина коэффициентов $\eta_{отк}$ равна или больше $\eta_{вкл}$, но не более чем в два раза, т.е. $\eta_{отк} = (1 \div 2) \eta_{вкл}$. В практике наиболее часто встречаются соотношения этих величин: $\eta_{отк} / \eta_{вкл} = (1 \div 1,5)$.

Анализ гидромодульного районирования оросительных систем, эксплуатации, планов водопользования существующих каналов, проектных проработок и т.д. показал, что одновременное включение (увеличение расходов воды) выпусков по всему каналу $\eta_{вкл}$ не превышает 30% от $Q_{норм}$ и в большинстве случаев имеет значительно меньшую величину.

Поэтому считается, что выбор величин $\eta_{вкл}$ и $\eta_{отк}$ в каждом конкретном случае должен быть достаточно обоснованным, так как от них в конечном итоге (для одного и того же канала с определенными габаритами и параметрами) зависит стоимость бьефов и канала в целом, а также сравнительная относительная стоимость авторегулируемой системы при сопоставлении его с другими типами.

Наихудшее переходное состояние авторегулируемой системы,

для которой необходимо рассчитать резервные объемы опорожнения бьефов канала - период перерегулирования ее с одного установившегося режима при подаче в выпуск расхода воды, равного $Q_j = Q_{j \text{ макс}} - \eta_{\text{вкл}} \cdot Q_{j \text{ норм}}$ на новый с водопотреблением в выпусках измененного расхода $Q_{j \text{ макс}}$ (здесь индекс j означает принадлежность расходов к рассматриваемому бьефу).

Расчеты резервных объемов опорожнения и наполнения необходимо начинать с бьефов, водовыпуски которых имеют наиболее тяжелые условия на случай одновременного максимального изменения расходов потребления воды. У таких бьефов водовыпуски наиболее удалены от головного сооружения канала. Необходимые резервные объемы рассчитываются каскадно (ступенчато из бьефа в бьеф) от концевой части канала вверх до головного сооружения. В отдельных случаях при установлении резервного объема воды данного бьефа канала нужно учитывать и водопотребление выпусков, и резервные объемы расположенных ниже бьефов на определенный промежуток времени.

В период автоматического регулирования и перехода системы с одного устойчивого режима (определенное соответствие расходов подачи и потребления воды) на другой, каждый бьеф канала должен всегда обеспечить баланс резервных объемов воды ($W_{\delta j}$) и объемов измененного расхода потребления ее за это время ($W_{n j}$), т.е.

$W_{\delta j} \geq W_{n j}$. Под $W_{n j}$ подразумеваем, например, рас-

ходы при одновременном включении $\sum_1^n Q_{вкл.j}$ (в определенное n число водовыпусков), одновременном закрытии $\sum_1^n Q_{отк.j}$ водовыпусков или при их комбинации $\sum_1^n Q_{вкл.j}$ и $\sum_1^{m-n} Q_{отк.j}$ (под m - общее число выпусков с комбинацией измененных расходов воды).

В некоторых случаях необходимо иметь баланс между резервным объемом регулирования промежуточного бьефа и объемом измененного потребления расходов воды не только выпусками, расположенными внутри рассматриваемого бьефа, но с учетом выпусков, расположенных ниже.

Пример 1.

Пусть в промежуточном длинном бьефе одновременно включены n водовыпусков, а в нижерасположенном коротком - $m - n$, причем $Q_n \leq Q_{m-n}$. Тогда в нижерасположенном бьефе время пробега волны возмущения (обратной гидравлической связи, возникающей от увеличения забора расходов) будет меньше, чем в вышерасположенном. Резервный объем воды, получаемый при опорожнении промежуточного бьефа, начиная с некоторого времени, должен обеспечить измененные расходы потребления водовыпусков не только своего, но и расположенного ниже бьефа.

Пример 2.

Рассмотрим аналогичный случай для тех же водовыпусков, но при одновременном их выключении - "отказе" от определенного расхода воды, причем $Q_n \leq Q_{m-n}$. Тогда в нижерасположенном бьефе время пробега возмущений волны (обратной связи, возникающей от уменьшения расходов потре-

ния) опять таки будет меньше, чем в вышерасположенном, т.е. резервный объем промежуточного бьефа с некоторого отрезка времени должен наполняться водой (объем наполнения) не только от измененных расходов, возникающих при закрытии водовыпусков своего бьефа, но и от расходов выпусков нижерасположенного бьефа.

Таким образом, резервные объемы воды в промежуточном бьефе, рассчитанные на изменение расходов только в своих выпусках, меньше объемов, получаемых с учетом изменения расходов потребления водовыпусков нижерасположенных бьефов. Поэтому последние желательно проектировать по длине равными или длиннее вышерасположенных (при равноценности параметров канала).

При аварийном состоянии системы (заклинивание, случай "г") затворы-автоматы нижнего бьефа могут оставаться в закрытом, полностью открытом или промежуточном положениях.

Закрытое положение затвора не опасно, кроме того, что водовыпуски нижерасположенных бьефов канала не обеспечиваются водой; промежуточное или полностью открытое - опасно, так как переполняется нижерасположенный бьеф. Поэтому в системах регулирования по нижнему бьефу необходимо предусмотреть автоматические сбросы (сифоны, водосливы и т.д.) из каждого бьефа канала, так как в аварийном положении любой затвор и любой, расположенный за ним, бьеф может переполниться.

Таким образом, в аварийном случае происходит следующее:

1) в открытом "заклиненном" положении затвора-автомата нижнего бьефа (рис. 1,б) в рассматриваемом бьефе происходит недостаточное "командование" горизонтов воды над выпусками, которые не обеспечиваются необходимыми расходами, и незабранная вода автоматически сбрасывается с нижерасположенного бьефа, а все вышерасположенные бьефы и головное сооружение потребуют пропуска максимальных расходов воды ;

2) в закрытом "заклиненном" его положении (рис. 1,в) выпуски бьефов, расположенных выше, работают нормально, ниже - остаются без воды.

Рассмотренные выше случаи водопотребления "а", "б", "в", "г" относятся к состоянию системы автоматического регулирования по нижнему бьефу, когда головное сооружение канала полностью обеспечено водой согласно плану водопользования.

При избыточной подаче воды или поступлении в бьеф ливневых и других вод (случай "д") горизонт верхнего бьефа перегораживающего сооружения может сильно возрасти, но наличие автоматических сбросов в каждом бьефе предотвратит разрушение дамб канала и сооружения (рис. 2,а).

При недостаточной водообеспеченности системы (случай "е") (рис. 2,б) канал будет опорожняться последовательно по участкам (бьефам) сверху вниз. Водовыпуски, расположенные в бьефах головной части канала, не будут обеспечены необходимыми расходами водопотребления, испытывая недостаток в воде, в то время как расположенные ниже некоторое время будут обеспечены потребным расходом, а пол-

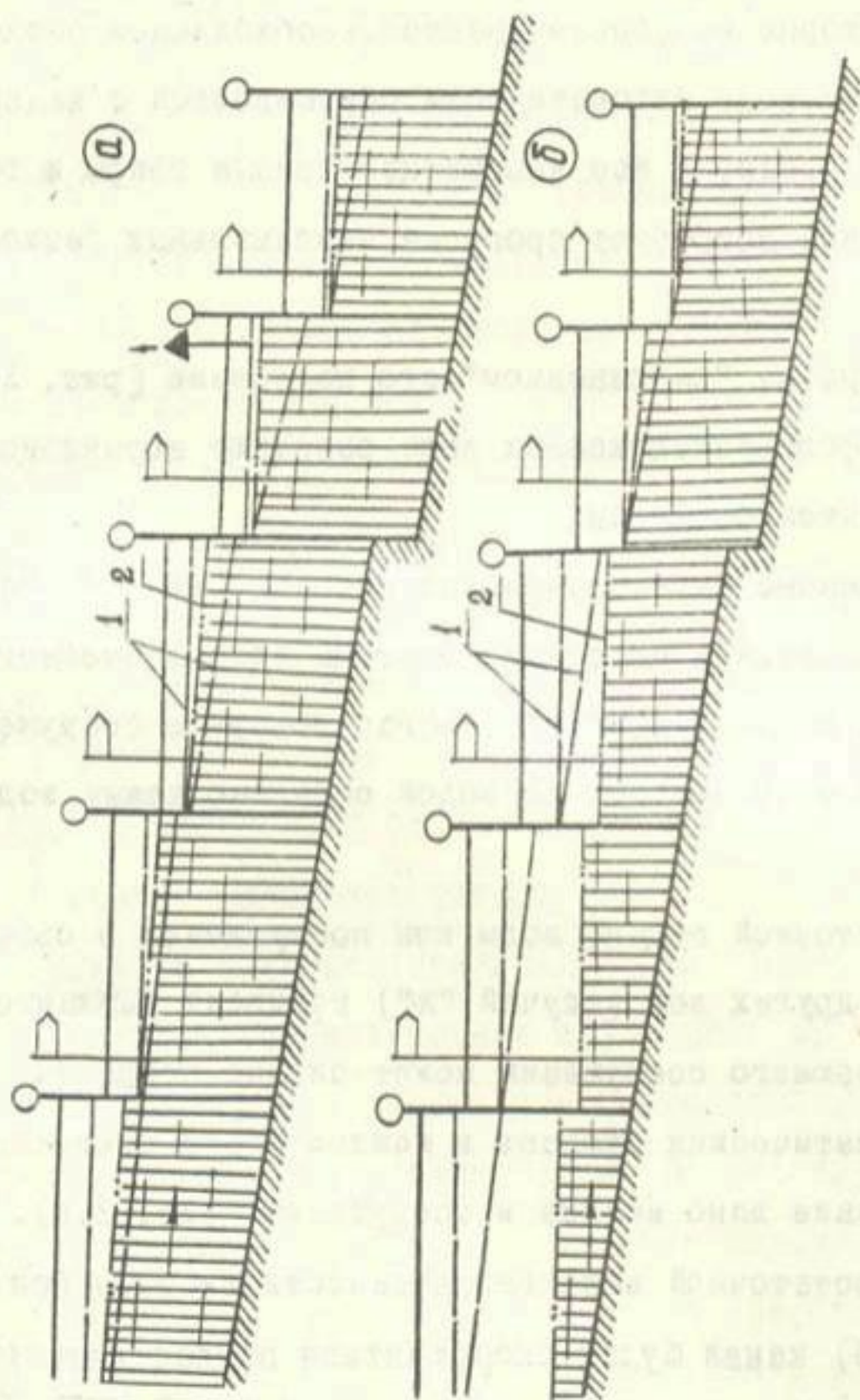


Рис. 2. Схема работы канала, управляемого по нижнему бьефу, при избыточной (а) и недостаточной (б) водоподаче. Кривые горизонтов воды бьефов: 1 - "границные" при нормальном состоянии работы системы; 2 - при промежуточных расходах Q .

ностью - только концевая часть канала. Поэтому в лучших условиях работы находятся водовыпуски нижней части канала. Даже кратковременная необеспеченность канала водой может привести к полному опорожнению всех его бьефов. Как этот недостаток, так и неизбежность автоматических сбросов из каждого бьефа при аварийном режиме работы канала приводят к необходимости применения более совершенной системы авторегулирования, управляемой смешанным действием или постоянным перепадом уровней.

В системе, управляемой по нижнему бьефу, разрыв между водоподачей и ее потреблением может возникнуть при недостаточных резервных объемах регулирования воды в бьефах (случай "ж"). Такой случай возможен при значительном увеличении максимального процента при одновременном включении или закрытии расходов воды выпусков, чем предусмотрено и принято расчетом.

Как говорилось выше, необходимые резервные объемы воды в бьефах устанавливают расчетным путем для определенных допустимых процентов расходов при одновременном включении или закрытии выпусков ($\eta_{вкл} Q_{норм}$ и $\eta_{отк} Q_{норм}$) и наиболее неблагоприятных условий и состоянии работы системы. Для эксплуатации таких систем считается, что проценты расходов при одновременном включении и закрытии выпусков не должны превышать допустимых максимальных, которые приняты в расчете: $\eta_{вкл} \leq \eta_{вкл.расч}$; $\eta_{отк} \leq \eta_{отк.расч}$.

Все же можно получить неразрывное соответствие между водоподачей и ее потреблением при повышении (по сравнению

с расчетами) максимальных процентов расходов при одновременном включении и закрытии водовыпусков. Изменение расходов потребления воды (меньших "разрывного", но больших или равных расчетному) в выпусках с Q' до Q'' и увеличение $\gamma_{вкл} Q_{норм}$ или $\gamma_{отк} Q_{норм}$ при этом может производиться методом "ступенчатого" их использования.

Например, резервный объем воды при опорожнении бьефа имеет допустимый и принятый расчетом максимальный процент расхода (одновременное включение выпусков) равный $5\% Q_{норм}$; необходимо увеличить расходы воды на 15% от $Q_{норм}$. Одновременное включение выпусков на расход воды $15\% Q_{норм}$ приведет к разрыву между водоподачей и ее потреблением, так как в бьефе нет достаточного для этого случая резервного объема опорожнения. Тогда согласно расчетным графикам $W_{\delta j} = f(Q_{кан. j})$ и $W_{п j} = f(Q_{кан. j})$ (первый - существующие "объемы опорожнения", второй - необходимые объемы потребления в зависимости от расходов в канале), можем, например, дать новый максимальный процент расхода при одновременном включении выпусков ("безразрывное" водопотребление), равный $10\% Q_{норм}$. Этот расход обеспечится перерегулированием системы (опорожнением резервного объема бьефа) сперва до нового устойчивого режима $Q' + 5\% Q_{норм}$, затем будет использован весь резервный объем воды между кривыми свободной поверхности потока, соответствующий расходам от $Q' + 5\% Q_{норм}$ (с $J < i$) до $Q_{макс}$ (с $J = i$; гидравлический уклон J равен уклону дна канала i). Затем резервный объем бьефа снова заполняется водой до устойчивого

вого режима канала, т.е. до кривой свободной поверхности потока с соответствующим ему расходом воды $Q' + 10\% Q_{\text{норм}}$.

После полного перерегулирования системы с устойчивого режима Q' на новый $Q' + 10\% Q_{\text{норм}}$ можем дать другой процент расхода при одновременном включении выпусков (опять больше или равный расчетному) - $5\% Q_{\text{норм}}$. В итоге получим изменение расходов потребления в бьефе с Q' до Q'' на $15\% Q_{\text{норм}}$.

Такой метод "ступенчатого" использования величин максимальных процентов расходов при одновременном изменении потребления воды в выпусках более эффективен и требует малый период времени для регулирования системы - перехода с одного устойчивого режима потребления расходов Q' на новый - Q'' , чем способ использования равных и постоянных (допустимых) по величине процентов расходов при одновременном включении или закрытии выпусков. Это происходит за счет полного использования всего резервного объема воды до кривой свободной поверхности потока с $J = i$.

Для рабочего проектирования канала с системами авторегулирования по нижнему бьефу необходимо провести, кроме обычных, следующие специфические гидравлические расчеты. Нужно выяснить:

а) местоположения перегораживающих сооружений, выпусков и выбрать выгодные сечения канала, а также обоснованные уклоны дна бьефов, исходя из необходимых и достаточных резервных объемов регулируемой воды в бьефах, их баланса, условия "командования" канала, т.е. немедленного обеспечения подачи необходимых и постоянных расходов воды в

выпуски. Резервные объемы бьефов находят из условия неразрывного соответствия между водопотреблением и ее подачей при самых наихудших состояниях работы системы, а также принятых величин максимальных расходов при одновременном изменении потребления воды в выпусках (при включении - $\eta_{вкл} \cdot Q_{ном}$ или "отказе" (закрытии) - $\eta_{отк} \cdot Q_{ном}$);

б) максимальные и минимальные кривые свободной поверхности потока в бьефах канала и строительную высоту его дамб и сооружений;

в) пропускную способность головного, перегораживающих, сбросных сооружений;

г) обеспеченность забора потребных расходов воды выпусками с помощью автоматов расхода при допустимых ΔH_g и $Z_{мин}$;

д) габариты и параметры конструкции автоматов регулирования постоянного уровня в нижнем бьефе, а также расхода и сброса, отвечающих ряду эксплуатационных, конструктивно-строительных, технико-экономических требований и соответствующих гидравлическим режимам работы каждого сооружения канала ;

е) возможность применения различных водомерных сооружений и приборов для автоматизированного измерения, учета расходов и стока воды ;

ж) возможность отложения наносов в бьефах и меры борьбы с ними и т.д.

В каналах с системой авторегулирования по нижнему бьефу водомерными должны быть головные, концевые сооружения,

если необходимо - ряд перегораживающих, сбросных и обязательно водовыпуски.

Для измерения расходов воды, проходящих через перегораживающие сооружения (с автоматами регулирования горизонта в нижнем бьефе), рационально совмещать эти сооружения с водомерными типа "приставка", "забрала", "ребра в стенке отверстия" и другими, которые, в свою очередь, оснащаются приборами автоматического учета воды (ДРС, СВН, Глубшева, ИМА и др.) [10].

Наличие автоматов расхода воды на выпусках канала делает их водомерными [11].

Сбросные сооружения в зависимости от типа конструкции режима истечения потока нижнего бьефа и т.д. будут иметь различные варианты осуществления учета воды.

Системы гидравлического авторегулирования каналов по нижнему бьефу имеют следующие преимущества перед системами, управляемыми с верхнего бьефа :

1. Полное автоматическое распределение расходов воды.

Постоянные расходы воды (в зависимости от потребления выпусков по плану водопользования) распределяются простым изменением уставок (положения затвора) автоматов расхода, имеющих ограничители подъема затворов. Способность системы к саморегулированию и самонастраиванию приводит к автоматическому изменению расходов воды в головном сооружении канала и к смене различных установившихся режимов системы соответственно водопотреблению.

Функции обслуживающего персонала ограничиваются изменением уставок расходов потребления водовыпусков (не выше

положенного) и простым наблюдением за работой системы.

2. Точное и немедленное обеспечение выпусков измененными расходами воды; реагирование на это всей системы.

Автоматическое изменение установившихся режимов системы, быстрая реакция ее на определенные запросы одновременного потребления воды происходит благодаря образованию и наличию достаточных резервных объемов воды в бьефах канала, а также обратной и прямой гидравлических связей между бьефами.

3. Распределение расходов в системе производится без сбросов; дефицита в потребном количестве воды при нормальных условиях работы системы не наблюдается.

При определенных режимах одновременного изменения потребления воды в выпусках ($\eta_{вкл} \cdot Q_{норм}$ или $\eta_{отк} \cdot Q_{норм}$, не превышающих допустимых) и достаточной водообеспеченности расходом головы канала, а также отсутствии аварийных режимов работы средств автоматики системы и т.д. между водоподачей и ее потреблением (за исключением потерь на фильтрацию и испарение) существует строгое соответствие, автоматически поддерживаемое системой.

4. Как и в системе, управляемой с верхнего бьефа, наличие ограничителей подъема затворов в автоматах расхода, установленные на определенные расходы воды, потребляемые выпусками канала, позволяет распределять воду не просто "по потребности", но и в порядке осуществления плана водопользования.

5. В эксплуатационных условиях, при обеспеченном заборе воды головным сооружением канала, водопотребление выпусками не зависит от последовательности их включения или закрытия, "отказа" (регулирования) расходами воды "сверху вниз" или "снизу вверх" по каналу, лишь бы расход при одновременном изменении потребления воды не превышал допустимый.

Система авторегулирования по нижнему бьефу имеет и недостатки :

1) переменность резервных объемов (наполнения или опорожнения) воды в бьефах не соответствует изменению расхода потребления воды выпусками. Увеличенному расходу соответствует уменьшенный резервный объем регулирования воды в бьефах (объем опорожнения); уменьшенному - увеличенный.

При максимальном расходе потребления воды канала имеем минимальные живые сечения по створам бьефа и наибольшие скорости движения воды; при минимальном - наоборот. От вышеизложенного зависит наносный режим потока в канале и завышение резервных объемов его бьефов ;

2) одновременное изменение потребления воды выпусками системы обеспечивается сосредоточенными резервными объемами ее в бьефах, расположенных выше мест водопотребления.

Резервные объемы воды бьефов, расположенных ниже выпусков канала, не участвуют в регулировании, что требует завышения их по сравнению, например, с системами, управляемыми по способу постоянного перепада бьефов ;

3) неразрывное соответствие между расходами потребления

воды выпусками канала и подачей ее в головное сооружение существует только при определенных допустимых расходах при одновременном изменении водопотребления ($Q_{вкл. допуст}$, $Q_{отк. допуст}$), на которые рассчитаны резервные объемы регулирования воды (при нормальной работе системы).

При одновременном включении ($Q_{вкл} > Q_{вкл. допуст}$) или недостаточном учете инерционности процессов и значительного запаздывания передачи расходов воды по каналу наступает разрыв, хотя иногда и кратковременный, т.е. потребляемые выпуски не могут забрать необходимый постоянный расход (наблюдается дефицит в воде). Такие случаи могут возникать и при "заклинивании" вышерасположенного автомата уровня (закрит), опорожнении канала, бьефа, неводообеспеченности и т.д.

При внезапном прекращении всего полива, притока ливневых расходов воды или "заклинивании" автомата (открыт) бьефы переполняются, что требует установки автоматических сбросов из каждого бьефа или перехода на систему, управляемую смешанным регулированием ;

4) для получения в системе обратной гидравлической связи и уменьшения объемов земляных работ допускаются незначительные уклоны дна каждого бьефа канала (меньше критических) ;

5) следствие перечисленных выше недостатков:

а) создание подпорно-переменного режима в канале приводит к опасности выпадения и отложения как донных, так и взвешенных наносов при неосветленной воде. Причем рассма-

триваемая система работает в более трудных условиях наносного режима, чем та, которая управляется с верхнего бьефа ;

б) необходимость резервных объемов воды требует увеличения строительной высоты бьефа канала, а следовательно, его стоимости ;

в) автоматы нижнего бьефа должны быть особенно надежными в работе, так как выход хотя бы одного из них из строя приводит к аварийному режиму действия системы. Следовательно, каждый бьеф должен иметь автоматический сброс, а сама система иногда - параллельный канал для сбросных вод ;

6) при недостаточной обеспеченности водой выпуски нижних участков канала находятся в наилучших условиях по ее потреблению, чем расположенные выше, поскольку канал начинает заполняться снизу, а опорожняться с верхних бассейнов бьефов ;

7) условия "командования" каналов (как системы, так и водовыпусков) требуют трассировку их большей частью в насыпи со значительными объемами земляных работ.

Каналы с системами гидравлического авторегулирования по нижнему бьефу (как из французской практики, так и по проектным проработкам института Средазгипроводхлопок) имеют надбавку в стоимости не более 6-7% по отношению к таким же каналам, управляемым по верхнему бьефу и оснащенным средствами гидравлической автоматики. При телеизмерении и телесигнализации систем эта надбавка равна 22%, а при телеуправлении 29,5%.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Оснащение ирригационных каналов, Механическое и гидравлическое оборудование, изготовляемое французской фирмой "Нейрпик" (Гренобль), Перевод с француз. языка, Узгипроводхоз, Ташкент, 1959.
2. Материалы III Международного Конгресса по ирригации и дренажу в 1957г. в г. Сан-Франциско, Вопрос 9, доклады 15, 16, 23.
3. Автоматические устройства для подачи и распределения оросительной воды, "Вопросы гидротехники", Будапешт, 1960, №3 (на венгер. языке).
4. Ч а р л з В. Т о м а с Водораспределение и измерение расходов воды в мировой практике,
Journal of the irrigation and drainage division ASCE, vol. 86, NIR 2, part 1, June 1960 j.
5. Национальная компания по мелиорации района Нижней Роны и Лангедока Франции - Магистральный канал, Конкурс на способы применения затворов автоматического регулирования, Перевод с француз. языка, Ташкент, Средазгипроводхлопок, 1961.
6. Сб. "Некоторые вопросы автоматизации оросительных систем", Изд. АН КиргССР, Фрунзе, 1963.
7. Сб. "Автоматизация объектов ирригационных систем", Изд. "Илим", Фрунзе, 1964.

8. Сб. "Гидравлические системы автоматизации ирригационных систем", Изд. "Илим", Фрунзе, 1965.

9. Хамадов И.Б., Гартунг А.А. Устройства гидравлической автоматики для автоматического регулирования расходов и горизонтов воды, "Вопросы гидротехники", вып. 32, Изд. "Наука" УзССР, Ташкент, 1967.

10. Хамадов И.Б., Краснов В.Е. Автоматизированный учет воды на оросительных системах с помощью водомерных сооружений типа приставки и динамического расходоуказателя "ДРС-60" (там же).

11. Хамадов И.Б., Гартунг А.А. Автоматические затворы с постоянным расходом воды для водовыпусков оросительных каналов, "Гидротехника и мелиорация", 1966, № 8.

12. Хамадов И.Б., Эйнгори Ф.Я., Ом Л.А. Системы гидравлического авторегулирования на оросительных каналах, "Гидротехника и мелиорация", 1967, № 3.

Хамадов И.Б., Ом Л.А.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА И РЕЖИМЫ РАБОТЫ КАНАЛОВ
С СИСТЕМАМИ СМЕШАННОГО АВТОРЕГУЛИРОВАНИЯ*)

В 1963г. институт "Средазгипроводхлопок" составил проектное задание по совхозному распределителю ЮР-18-3 в целинной части Голодной степи с автоматическим водораспределителем (Эйнгорн Ф.Я., Ом Л.А., Плутно Б.С., Мансуров А.А., Авдеев А.И. и др.).

В 1964г. лаборатория автоматизации гидромелиоративных систем САНИИРИ им. В.Д.Журина и отдел проектирования гидротехнических сооружений института "Средазгипроводхлопок" провели совместную работу по обобщению принципиальных схем и режимов действия системы гидравлического авторегулирования каналов, управляемых по смешанному типу.

Анализ системы смешанного авторегулирования состоял в рассмотрении следующих вопросов:

- а) определение и принципиальная схема (наличие и размещение сооружений с необходимым автоматическим оборудованием);
- б) режимы работы как системы (при нормальной, из-

*) Статья представляет краткое изложение доклада, сделанного на Всесоюзной научно-технической конференции по гидротехнике в г.Москве 13-16 сентября 1965г., организованной Министерством мелиорации и водного хозяйства и ВДНХ СССР.

быточной, недостаточной водоподаче), так и средств гидравлической автоматики (в нормальных и аварийных состояниях);

в) комплекс необходимых специфичных гидравлических расчётов для таких систем;

г) водомерность сооружений;

д) возможность осуществления автоматического соответствия между количеством потребляемой воды и ее подачей;

е) их преимущества и недостатки;

ж) их экономическая оценка.

Система авторегулирования с совмещенными функциями, которая в нормальных условиях ничем не отличается и работает как каналы, управляемые по нижнему бьефу, а в аварийных случаях - избыток или спад расходов воды в бьефах - допускает изменение уровня нижнего бьефа и переходит на регулирование по верхнему бьефу, поддерживая горизонт воды верхнего бьефа в заданных постоянных пределах максимума (H_{max}) или минимума (H_{min}), называется управляемой по смешанному типу.

Эта система - более усовершенствованная форма (а не разновидность) авторегулирования по нижнему бьефу, и поэтому выделяется в отдельный тип.

Такое авторегулирование совмещает в себе преимущества систем, управляемых как по верхнему, так и нижнему бьефу; при этом исключается ряд их недостатков, которые присущи системам при работе их в отдельности.

Принципиальная схема канала при системе смешанного авторегулирования имеет все элементы схемы, управляемой по нижнему бьефу, за исключением того, что:

1) перетораживающие сооружения имеют затворы-автоматы смешанного регулирования ;

2) сбросные сооружения с автоматами располагаются в конце канала, а не в каждом бьефе (за исключением особо ответственных случаев) ;

3) водовыпуски с автоматами расхода устанавливаются в зависимости от принятых условий обеспечения постоянного потреблений воды; только в нормальных условиях работы канала, с расположением выпусков в верхних частях бьефов (аналогично системе регулирования по нижнему бьефу) ; а также включая аварийные условия работы системы, с расположением их в нижних частях бьефов (аналогично каналам, управляемым с верхнего бьефа) ;

4) головное сооружение канала имеет автомат смешанного регулирования или нижнего бьефа в зависимости от выполняемой функции рассматриваемого канала (разгрузочный или нет) по отношению к старшему (при его "паводковом" или аварийном режиме работы) ;

5) емкости бьефов для резервов регулируемой воды должны учитывать не только нормальные режимы работы каналов, но и аварийные ;

6) концевое "тупиковое" сооружение канала может иметь водовыпуски или автоматический сброс в виде автоматов верхнего бьефа ($H_{make} = H_{расч} = const$) и дру-

гих устройств.

Перегораживающие сооружения канала имеют гидравлические затворы-автоматы тройного действия и в зависимости от условий работы такой системы поддерживают при:

1) нормальном - постоянный горизонт воды нижнего бьефа $h_0 = const$, автоматически создавая соответствие между расходами водоподачи в головное сооружение канала и водопотреблением в выпусках;

2) аварийном - избытке расходов воды - постоянный максимальный горизонт верхнего бьефа $H_{max} = const$, автоматически сбрасывая неиспользованную воду из бьефа в бьеф до конечного сброса канала ;

3) недостаточной обеспеченности водой - минимальный горизонт воды верхнего бьефа $H_{min} = const$, задерживая объемы воды перед перегораживающими сооружениями канала и, таким образом, предотвращая полное опорожнение их бьефов.

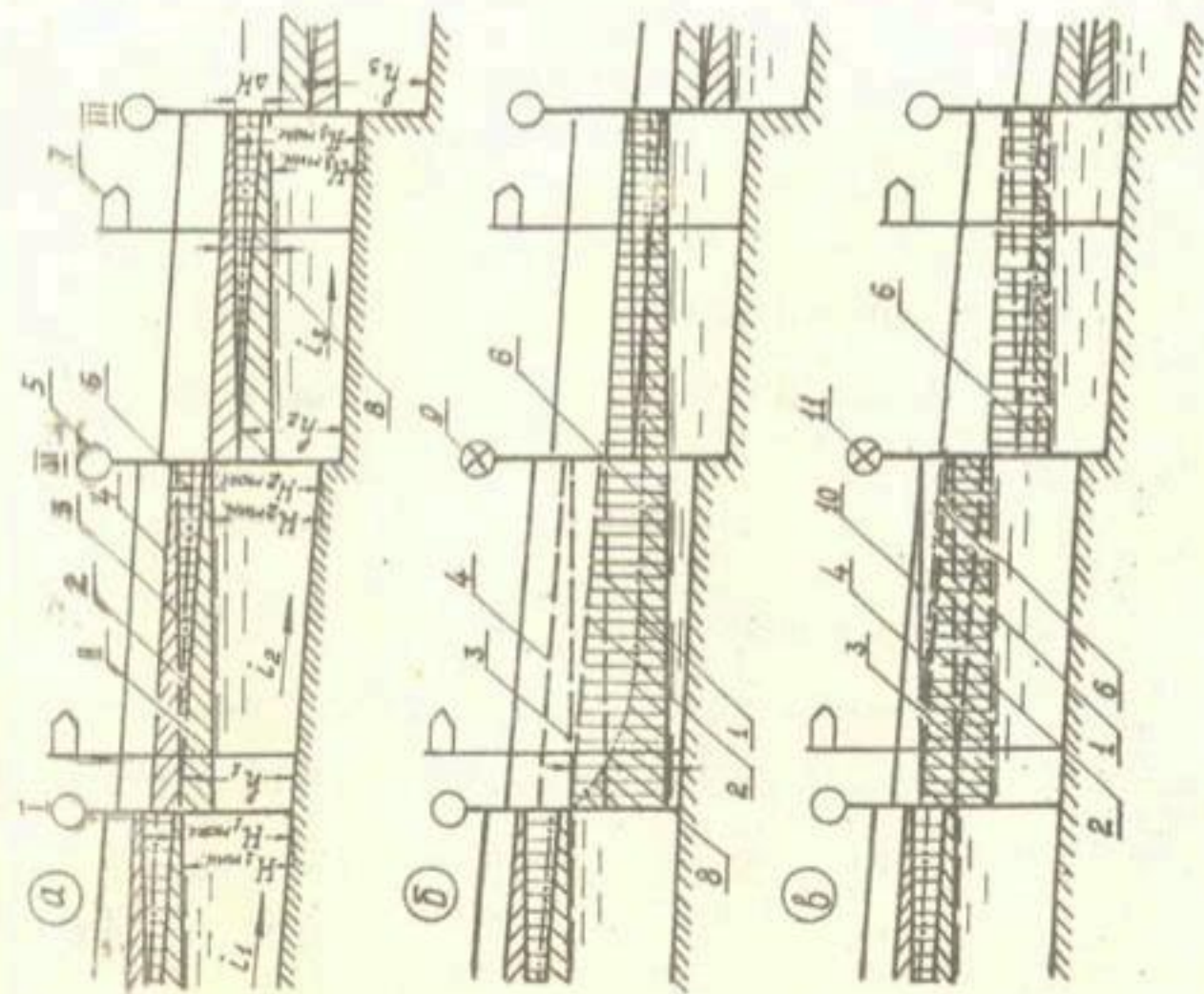
При оснащении перегораживающих сооружений оборудованием, обеспечивающим выполнение только первых двух действий, имеем усовершенствованную разновидность системы авторегулирования по нижнему бьефу. Только при наличии и осуществлении гидравлическими затворами-автоматами перегораживающих сооружений канала всех трех вышеуказанных его действий будем иметь новый тип системы - смешанное авторегулирование.

Таким образом "классическая" схема канала (рис. 1), запроектированная по системе смешанного регулирования,

Рис. 1. Схема канала, управляемого смешан-
ным регулированием, при нормальном (α), а
также аварийных режимах работы автомата сме-
шанного регулирования в открытом (β) и закры-
том (II) их "заклинных" положениях (δ, θ).

Кривые свободной поверхности потока бьефов:
1, 4 - для $Q = 0$ ($J=0$) и $Q = Q_{\text{катастроф}}$.
($J=i$) при работе автомата по минимальному и
максимальному горизонтам воды верхнего бьефа;
2, 3 - для $Q = Q_{\text{макс}}$. ($J=i$) и $Q = 0$
($J=0$) при работе автомата по постоянному
горизонту воды нижнего бьефа;
6 - для промежуточных расходов $Q (0 \leq Q \leq Q_{\text{макс}})$;
8 - их колебания в створе выпуска;
10 - при отсутствии сброса.

Сооружения канала:
5 - перегородки, работающие с автоматом смешанного
регулирования;
7 - выпуски с автоматами расхода воды.



имеет головное сооружение с автоматом нижнего бьефа и перегораживающие - с автоматами смешанного регулирования, а также водовыпуски с автоматами расхода, причём, концевая часть канала выполняется в виде "тупикового" сооружения или концевого выпуска, оснащенного автоматическим сбросом (автомат-сифон, автомат верхнего бьефа и т.д.).

Одна из отличительных особенностей такой системы : на перегораживающих сооружениях канала не требуются автоматические сбросы из каждого бьефа, так как при аварийном состоянии работы одного или нескольких затворов (например, открытом "заклиненном" положении) в лежащих ниже бьефах переполнения не произойдет и неиспользованная вода при достижении H_{max} будет сбрасываться из бьефа в бьеф до концевой части канала. Для закрытого "заклиненного" состояния затвора, как и в системе регулирования по нижнему бьефу, нижерасположенные выпуски не будут обеспечены водой, а под воздействием обратных волновых возмущений начнут прикрываться затворы вышерасположенных перегораживающих сооружений из бьефа в бьеф до головного сооружения.

Другая отличительная особенность рассматриваемой системы - переход на регулирование по верхнему бьефу при начале полного опорожнения вышерасположенных (по каналу) бьефов или недостаточной водообеспеченности головного сооружения. Как известно, в системе авторегулирования по нижнему бьефу в более благоприятных условиях

водопотребления находятся выпуски нижней части канала, а в системе, управляемой по верхнему бьефу — наоборот. Поэтому переход системы смешанного регулирования на режим поддержания минимального горизонта верхнего бьефа $H_{\min}$ способствует более равномерному распределению воды между бьефами и предотвращает полное их опорожнение, а при восстановлении водообеспеченности система переходит на нормальный режим работы, время наполнения бьефов уменьшается. При этом также исключается возможность возникновения противодавления фильтрационной воды на одежду облицовки канала или их откосов и резкого переменного увлажнения.

Таким образом, дополнительные функции, осуществляемые автоматами смешанного действия системы, позволяют препятствовать переполнению бьефов канала, а также обнажению его водовыпусков, что делает систему авторегулирования более рациональной, гибкой и надежной.

Принципиальная схема автоматической системы, управляемой способом смешанного регулирования, представлена на рис. 1а.

Кривые свободной поверхности потока в бьефах канала при нормальных условиях работы системы (рис. 1) располагаются аналогично системе авторегулирования, управляемой по нижнему бьефу, в аварийных условиях — по верхнему.

В нормальных условиях работы гидравлической системы смешанного авторегулирования линии горизонтов сво-

бодной поверхности потока пересекаются за перегораживающими сооружениями и по длине бьефа имеют два их граничных положения. Первая кривая параллельна уклону дна канала ($J = i$) с глубиной h_0 ($Q_{\text{макс.гор}}$); вторая - горизонтальна ($J \cong 0$), глубина воды ее у нижерасположенного перегораживающего сооружения H_0 ($Q_{\text{мин.гор}}$). При промежуточных расходах канала

($Q_{\text{макс.гор}} > Q > Q_{\text{мин.гор}}$) кривые подпора занимают промежуточные положения между ними (в "граничном треугольнике").

При избытке расходов воды в бьефах ($Q_{\text{макс}} > Q_{\text{макс.гор}}$) и достижении максимального горизонта в верхнем бьефе $H_{\text{макс}} = H_0 + \delta \cdot H_{\text{гор}}$ - аварийный расход сбрасывается и происходит регулирование по верхнему бьефу ($\delta \cdot H_{\text{гор}}$ - допустимое превышение уровня над глубиной H_0). Предельная линия поверхности наибольшего горизонта воды в верхнем бьефе параллельна дну канала ($J = i$) и располагается выше "граничного треугольника".

В случае дефицита расходов воды в бьефах ($Q_{\text{мин}} < Q_{\text{мин.гор}}$) и достижении минимального горизонта воды верхнего бьефа $H_{\text{мин}} = h_0 - \delta_1 \cdot H_{\text{гор}}$ этот уровень поддерживается регулированием по верхнему бьефу с предотвращением полного его опорожнения ($\delta_1 \cdot H_{\text{гор}}$ - допустимое понижение глубины h_0). Предельная линия поверхности наименьшего уровня воды верхнего бьефа горизонтальна

($J \cong 0$) и располагается ниже "граничного треугольника".

Таким образом, для любых промежуточных расходов воды бьефа ($Q_{\min} < Q < Q_{\max}$) и при работе системы в нормальных, аварийных режимах кривые свободной поверхности потока могут располагаться в "предельных призмах" резервных объемов бьефов канала. Причём, сами "призмы" объемов ограничиваются кривыми свободной поверхности воды ("предельными линиями" при регулировании по верхнему бьефу) : верхней, параллельной уклону дна канала, $J = i$ (при $Q_{\max} > Q_{\max.гор}$) и нижней горизонтальной, $J \cong 0$ (при $Q_{\min} < Q_{\min.гор}$).

Как видно из рис. 1, кривые свободной поверхности потока в канале меняются довольно значительно по сравнению с системами регулирования по верхнему или нижнему бьефу в отдельности. Это приводит к тому, что каналы должны иметь значительные строительные глубины, а следовательно, большую стоимость как бьефов, так и всего канала.

Наличие в канале новых свойств системы и значительных резервных объемов регулирования позволяет наполнять или опорожнять бьефы водой, а также обеспечить забор ее выпусками в любом допустимом количестве при прохождении различных расходов по каналу.

Аварийные режимы работы автоматов перегораживающих сооружений систем смешанного авторегулирования, по нижнему бьефу аналогичны:

а) в открытом "заклиненном" положении затвора (рис. 1б) в рассматриваемом верхнем бьефе происходит недостаточное "командование" горизонтов воды над выпусками, которые не обеспечиваются необходимым количеством воды, и незабранный расход ее идет в нижележащий бьеф. При значительных незабранных расходах воды автомат смешанного регулирования нижележащего бьефа переходит на работу по максимальному горизонту верхнего. Все вышерасположенные бьефы и головное сооружение потребуют пропуска максимального по ним расхода;

б) в закрытом "заклиненном" его положении (рис. 1в) водовыпуски вышерасположенных бьефов работают нормально, а расположенных ниже могут остаться без воды. При избыточной водоподаче в рассматриваемый бьеф (например, ливневые воды и т.д. с аварийным состоянием затвора) может произойти его переполнение. Поэтому эксплуатационными, конструктивными условиями и требованиями закрытое "заклиненное" положение автомата при достижении $H_{макс}$ должно быть исключено.

В случае избыточной подачи воды в канал и достижении глубины воды в верхнем бьефе перегораживающего сооружения $H_{макс}$ (рис. 2а), вода сбрасывается из бьефа в бьеф до конечного сооружения; в случае кратковременной, недостаточной водообеспеченности головного сооружения канала (по сравнению с потреблением выпусков бьефов, рис. 2б) предотвращается полное опорожнение бьефов и вода между ними распределяется более равномерно.

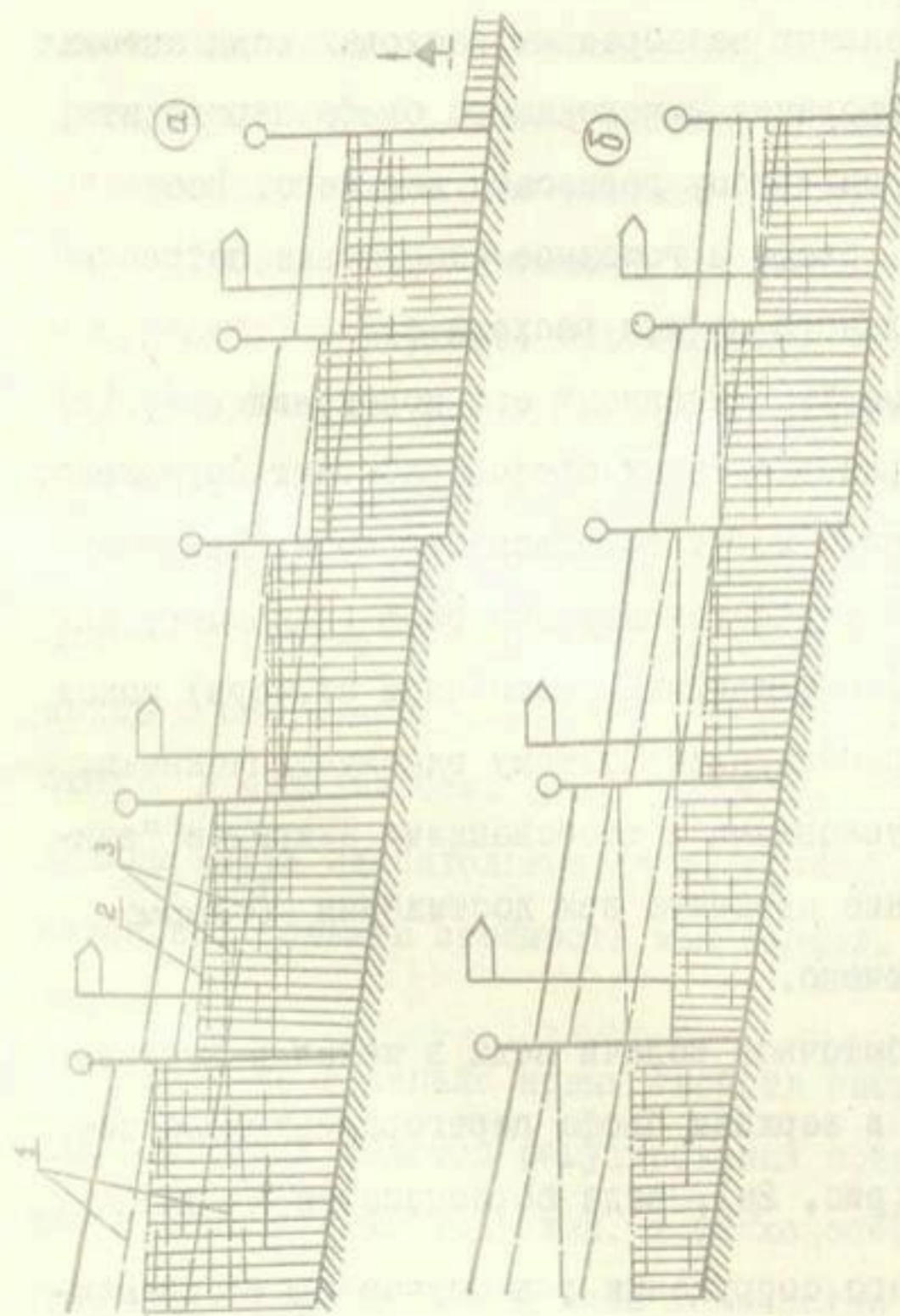


Рис. 2. Схема работы канала, управляемого смешанным регулированием, при: недостаточной (б) и избыточной (а) водоподаче.

Кривые горизонтов воды бьефов:

3,1 - "границные" при нормальном и аварийных состояниях системы;
2 - при промежуточных расходах Q .

Гидравлические расчёты систем смешанного авторегулирования аналогичны расчётам по нижнему бьефу, за исключением приведенных ниже дополнений:

1) вместо затворов-автоматов нижнего бьефа рассматриваются автоматы смешанного регулирования. В расчетах особое внимание уделяет периоду перехода с регулирования по нижнему бьефу на верхний бьеф в пределах максимума и минимума (величинам $\delta \cdot H_{\text{гет}}$ и $\delta_i \cdot H_{\text{гет}}$), и обратно, их допустимым диапазонам, а также пропуску максимальных расходов сброса ;

2) рассчитываются максимальные кривые свободной поверхности потока в бьефах (с учетом перехода системы на регулирование по верхнему бьефу) и пропуск сбросных наибольших расходов канала, а также соответственная высота дамб канала, сооружений ;

3) производятся расчеты и выбор (с местоположениями) автоматов расхода водовыпусков по максимальным колебаниям горизонтов воды канала (если требуется - с учетом перехода системы на регулирование по верхнему бьефу), т.е. в зависимости от принятого режима водопотребления с обеспечением потребных расходов воды только при нормальном или, включая и аварийные режимы работы канала ;

4) вместо проектирования автоматов сброса из каждого бьефа необходимо рассчитать концевой сброс при пропуске максимально возможных расходов неиспользованной

воды и т.д.

Для указанных систем водомерными должны быть сооружения: головные, выпуски, концевые сбросы и ряд перегородивающих, а в ответственных случаях - гидрометрические створы канала.

Как говорилось выше, смешанное регулирование - более совершенная система, чем авторегулирование по нижнему бьефу. При нормальных режимах работы она преимущественно имеет перед системой регулирования по нижнему бьефу. Эти преимущества наглядны при переходе системы на аварийные условия работы:

1) она более удобна и надежна в эксплуатации, так как при аварийном режиме - избытке расхода воды в бьефах канала - неиспользованная вода сбрасывается из бьефа в бьеф до концевого сброса, предотвращая переполнение бьефов. Автоматические сбросы из каждого бьефа не требуются.

2) при недостаточной обеспеченности водой или спаде расходов система реагирует на нее и переходит на регулирование по верхнему бьефу, чем способствует равномерному распределению воды между бьефами и предотвращает как полное опорожнение бьефов, так и ряд нежелательных, возникающих в канале, явлений (противодавление фильтрационной воды на откос, сильное изменение переменного увлажнения и т.д.).

Система смешанного авторегулирования имеет и некоторые недостатки:

а) стоимость системы каналов, по сравнению с системой таких же каналов, управляемых по верхнему и в ряде случаев по нижнему бьефу, повышается. Это происходит за счёт необходимости увеличения резервных объемов регулирования в бьефах канала ;

б) в случае необходимости обеспечения постоянных потребных расходов воды в выпуски и при аварийных режимах работы системы (с переходом ее на регулирование по верхнему бьефу), затворы-автоматы расхода водовыпусков должны иметь значительный допустимый диапазон изменения горизонтов воды верхнего бьефа, соответственно максимальным колебаниям уровней бьефа канала в месте их установки ;

в) рассматриваемая система уступает системе авторегулирования по способу сообщающихся уровней (постоянному перепаду уровней бьефов) в использовании резервных объемов воды бьефов.

Если в системе смешанного регулирования (в процессе изменения потребления и получения соответствия между водопотреблением и ее подачей) разница измененных расходов в выпуски забирается из сосредоточенных резервных объемов бьефов, расположенных выше точек потребления (исключая объемы нижерасположенных бьефов), то в системе регулирования по способу сообщающихся уровней используются рассредоточенные резервные объемы совокупности всех бьефов. Рассредоточенные резервные объемы используются с помощью затворов-автоматов, под-

держивающих постоянный перепад горизонтов воды верхнего и нижнего бьефов перегораживающих сооружений каналов. Такая система, как и система смешанного регулирования, работает в двух условиях - нормальном и ограниченном. Эта система еще дороже по стоимости, чем системы регулирования по нижнему бьефу и смешанного типа.

Система смешанного авторегулирования (как из французской практики, так и по проектным проработкам института "Средазгипроводхлопок") имеет надбавку стоимости 9-22% по отношению к таким же каналам, управляемым с верхнего бьефа и оснащенным средствами гидравлической автоматики. При телеизмерении и телесигнализации эта надбавка равна 28%, а при телеуправлении - 35,5%.

М.П. САЛЬНИКОВ

РАСЧЁТ ПОПЛАВКОВОГО РЕГУЛЯТОРА УРОВНЯ
ДЛЯ ВОДОВЫПУСКОВ ЗАКРЫТОЙ ОРОСИТЕЛЬНОЙ
СЕТИ

В лаборатории эксплуатационной гидрометрии САНИИРИ разработан поплавковый регулятор для водовыпусков закрытой оросительной сети. Уровень воды в приемном колодце такого выпуска остается постоянным при изменениях как действующего напора в трубопроводе, так и величины забираемого расхода воды.

Это свойство автоматизированного водовыпуска позволяет благоприятно сочетать прерывистый процесс полива и непрерывный — транспортирования оросительной воды. Поэтому использование такого регулятора наиболее целесообразно при поливах с помощью гибких трубопроводов и передвижных дождевальных агрегатов.

В первом случае гибкий трубопровод, присоединенный к выпускному отверстию колодца, будет всегда работать при постоянном напоре. Такая схема стабилизирует подачу воды на полив, исключает необходимость ручной регулировки и устраняет опасность повреждения гибкого трубопровода при переключениях на нем (что наблюдается в случае присоединения такого трубопровода непосредственно к задвижке водовыпуска).

При поливе передвижным дождевальным агрегатом воду

из колодца подают в открытый ороситель с нулевым уклоном дна и обеспечивают взаимосвязь уровней воды в оросителе и колодце. Тогда в случае перебоя в работе дождевального агрегата или изменения напора в закрытой сети уровень воды в оросителе никогда не превысит расчётного, в силу чего отпадает необходимость в непрерывном контроле и ручном регулировании.

Устройство регулятора. Регулятор (рис.1) состоит из неподвижного цилиндрического корпуса 2, который имеет дроссельное отверстие I и с помощью радиальных ребер 3 скреплен с фланцем 6, а также из основного плунжера 4, управляющего 5, поплавка 10 со штоком 8 и экранов 7 и 9.

Принцип действия регулятора состоит в следующем. Нарушение равенства притока и оттока воды изменяет уровень ее в колодце. С помощью поплавка и штока это изменение передается управляющему плунжеру 5. В результате перемещения последнего меняется давление в корпусе 2 и плунжер 4, перемещаясь, изменяет площадь истечения в фланце 6 до тех пор, пока не восстановится равенство притока и оттока воды, и уровень в колодце стабилизируется.

Принцип действия, реализованный в этом регуляторе, позволяет получить высокую точность стабилизации уровня с помощью относительно небольшого поплавка.

Конструкция регулятора (рис.2) в дополнение к схеме (рис. 1) имеет подъемник A, поп-

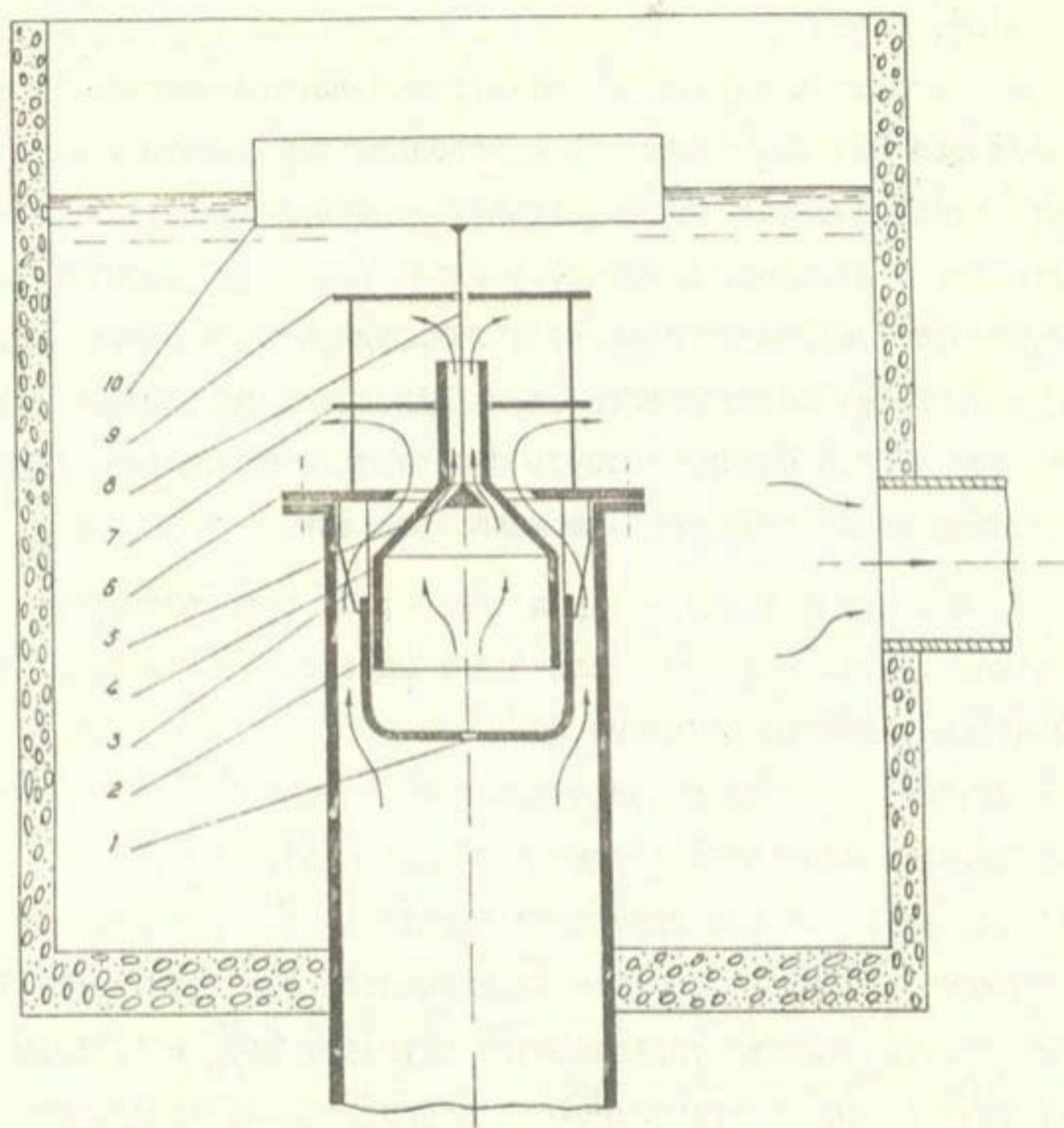


Рис. I. Поплавковый регулятор уровня для водовыпусков закрытой оросительной сети.

лавковую камеру δ , пружинный гаситель гидроудара δ (устанавливается в случае необходимости), гидравлический демпфер 2 .

Подъемник служит для принудительного закрытия. Поплавковая камера, сообщаясь с колодцем небольшими отверстиями, уменьшает колебание уровня воды в ней. Камера снабжена крышкой с запором. Демпфер, убавляя скорость закрытия регулятора, уменьшает опасность гидроудара и является нижней направляющей поплавкового штока. Дроссель регулятора выполняется в виде сетки, которую образуют 12 отверстий, площадь которых равна расчётной площади дросселя.

Модель регулятора была выполнена согласно рис. 2 и устанавливалась на стойке диаметром 100мм. Основные размеры ее элементов:

- 1) средний диаметр седла основного затвора $D_c^{cp} = 58,5 \text{ мм}$;
- 2) диаметр основного плунжера $D_{o.n.} = 69,5 \text{ мм}$;
- 3) максимальный ход основного плунжера $A_{o.n.}^{max} = 18,0 \text{ мм}$;
- 4) диаметр прохода в седле управляющего затвора $d_y = 16,7 \text{ мм}$;
- 5) средний диаметр управляющего плунжера $D_{y.n.}^{cp} = 17,5 \text{ мм}$;
- 6) коэффициент гидравлического сопротивления основного затвора, отнесенный к скорости в стойке, $\xi_{o.z.} = 34,0$;
- 7) коэффициент расхода управляющего затвора, отнесенный к скорости в сечении $\omega = 0,785 (d_y^2 - d_{ш}^2)$, где $d_{ш}$ - диаметр поплавкового штока) $\mu_{y.z} = 0,60$.

Расчёт регулятора. Регулятор - гидромеханическое устройство, которое, помимо механической прочности, должно обладать заданной пропускной способностью

и действовать автоматически.

Методика механического расчёта устройств подобного рода достаточно полно освещена в соответствующей справочной и периодической литературе.

Регулятор в соответствии с заданной пропускной способностью необходимо подбирать на основе гидравлического расчёта.

Автоматическое действие регулятора может быть достигнуто соответствующим выбором элементов управляющего тракта.

Работа регулятора порождает гидроудар, поэтому необходимо проверить и при необходимости защитить трубопровод от его последствий.

Пример расчёта регулятора для подачи воды из закрытой оросительной сети передвижному дождевальному агрегату ДДА-100М.

Исходные условия:

1) максимальный расход $Q_{max} = 110,0$ л/сек ;

2) максимальный рабочий напор $Z_r^{max} = 10,0$ м ;

3) минимальный рабочий напор $Z_r^{min} = 3,0$ м ;

4) допустимая погрешность стабилизации уровня $\Delta h_n^{max} = \pm 5,0$ см ;

5) водовод выполнен из асбоцементных труб ВТ-6 с диаметром условного прохода $D_y = 300$ мм (ГОСТ 539-59).

Допустимый напор для труб - 60,0 м вод.ст.

Внутренний диаметр трубы $\Phi = 279,0$ мм ; наружный $\Phi_n = 314$ мм ; толщина стенок $\delta_{тр.} = 17,5$ мм.

Гидравлический расчёт регулятора

предусматривает выбор его размера в соответствии с заданной пропускной способностью. Он сводится к определению геометрического линейного масштаба. Определяют скорость в стояке натурального регулятора:

$$v = \sqrt{\frac{2g Z_p^{max}}{\xi_{o.з.}}} = \sqrt{\frac{2 \times 9,8 \times 3,0}{34,0}} = 1,30 \text{ м/сек.}$$

Диаметр стояка натурального регулятора составит:

$$D_{ст.} = \sqrt{\frac{4 Q_{max}}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,11}{3,14 \times 1,30}} = 0,330 \text{ м.}$$

Геометрический линейный масштаб

$$\delta = \frac{D_{ст.}}{D_{ст.}^м} = \frac{330,0}{100,0} = 3,30.$$

При конструировании натурального регулятора, согласно рис. 2, размеры основных его элементов, обтекаемых потоком, увеличивают в 3,3 раза:

- 1) $D_c^{ср.} = 187,5 \text{ мм}$;
- 2) $D_{o.n.} = 230,0 \text{ мм}$;
- 3) $a_{o.n.}^{max} = 60,0 \text{ мм}$;
- 4) $d_y = 55,0 \text{ мм}$;
- 5) $D_{y.n.}^{ср.} = 57,5 \text{ мм}$;
- 6) $d_{ш.} = 25,0 \text{ мм}$ (выбран по конструктивным соображениям).

Защита водовода от гидроудара . Скорость распространения ударной волны в асбоцементном водоводе с $E = 2,0 \times 10^5 \text{ кг/см}^2$ -

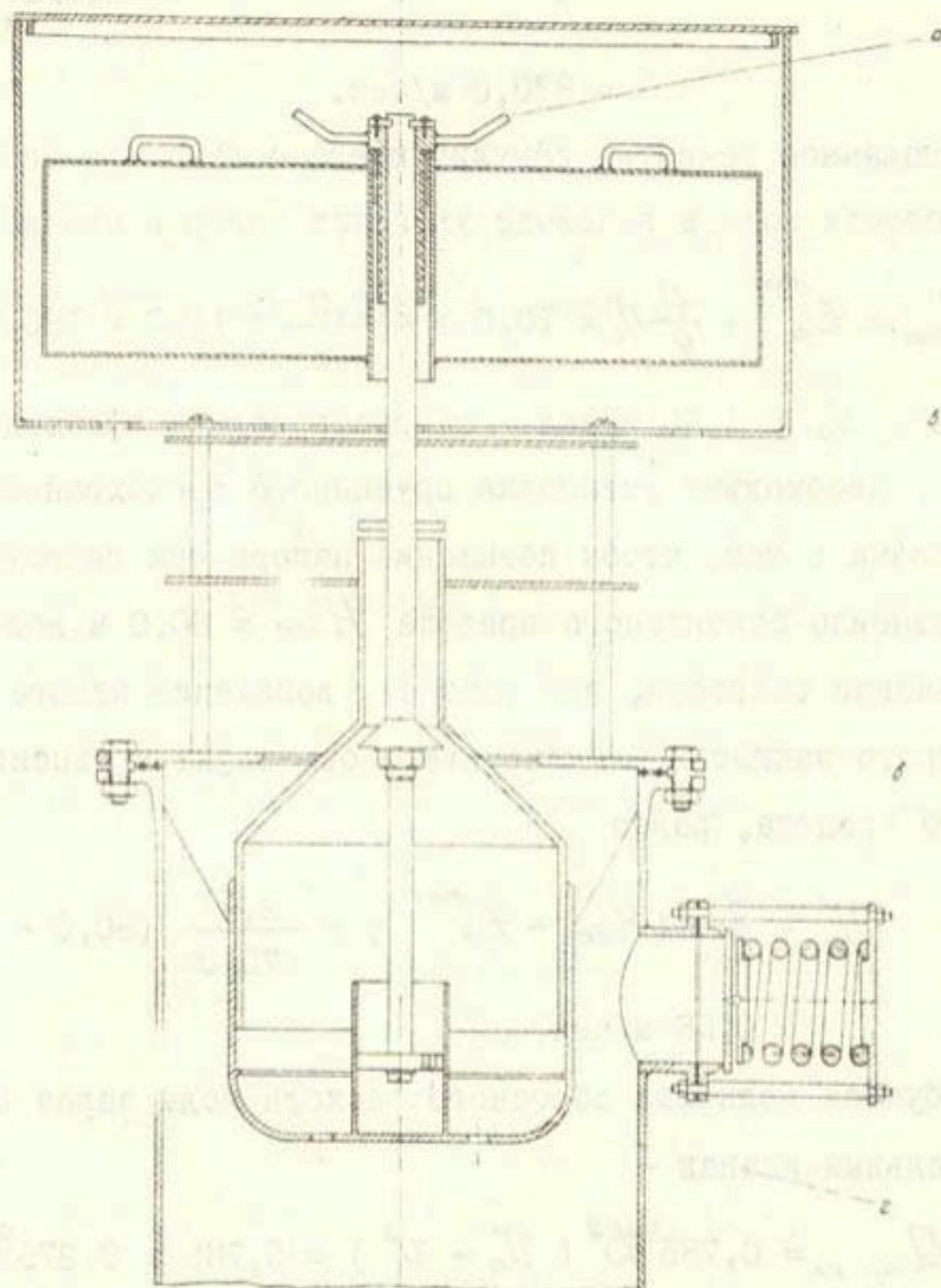


Рис.2. Конструкция регулятора.

$$C = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{2,1 \times 10^4}{E} \cdot \frac{D}{\delta}}} = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{2,1 \times 10^4}{2,0 \times 10^5} \times \frac{279,0}{17,5}}} = 870,0 \text{ м/сек.}$$

Мгновенное закрытие регулирующего органа при максимальной скорости воды в водоводе увеличит напор в нем до величины

$$H_{max} = Z_p^{max} + \frac{C}{g} V_0 = 10,0 + \frac{870,0}{9,8} \times 1,80 = 160,0 \text{ м вод.ст.,}$$

где $V_0 = 1,80 \text{ м/сек}$ - скорость воды в водоводе.

Необходима установка пружинного предохранительного клапана с тем, чтобы повышение напора при гидроударе не превысило безопасного предела $H_{доп.} = 60,0 \text{ м вод.ст.}$ Значение скорости, при которой увеличение напора от мгновенного закрытия регулирующего органа, не превысит допустимого предела, равно

$$V_1 = \frac{g}{C} (H_{доп.} - Z_p^{max}) = \frac{9,8}{870,0} (60,0 - 10,0) = 0,58 \text{ м/сек.}$$

Требуемая величина сбросного расхода воды через предохранительный клапан -

$$Q_{пр.кл.} = 0,785 D^2 (V_0 - V_1) = 0,785 \times 0,279^2 \times (1,80 - 0,52) = 0,074 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

Для пропуска такого расхода потребуется пружинный клапан с диаметром прохода в седле 150,0 мм.

Расчёт управляющего тракта регулятора. Вес поплавка определяется из условия

открытия управляющего затвора при максимальном расчётном напоре:

$$G_n = 1,25 \frac{\pi}{4} D_{y.n.}^2 \cdot Z_p^{max} \cdot \gamma = 1,25 \frac{3,14}{4} \times 0,057^2 \times \\ \times 10,0 \times 1000,0 = 32,5 \text{ кг.}$$

Диаметр поплавка определяется из условия допустимого снижения уровня воды в колодце в момент открытия, которое равно удвоенной допустимой погрешности стабилизации:

$$D_n = D_{y.n.} \sqrt{\frac{1,25 \cdot Z_p^{max}}{2 \cdot \Delta h_n^{max}}} = 57,5 \sqrt{\frac{1,25 \times 10,0 \times 10^3}{2 \times 50}} = 650, \text{ мм}$$

Конструктивная высота поплавка должна составлять 1,5÷2,0 величины допустимого снижения уровня в момент открытия.

Перепады между трубопроводом и корпусом Z_p' , а также корпусом и колодцем Z_p'' в момент открытия

$$Z_p' + Z_p'' = Z_p^{max} = 10,0 \text{ м ;} \\ \frac{Z_p'}{Z_p''} = 1,5 \frac{D_c^2 - D_{y.n.}^2}{D_{e.n.}^2 - D_c^2} = 1,5 \frac{187,5^2 - 57,5^2}{230,0^2 - 187,5^2} = \\ = 2,66 ; \\ Z_p' = 7,3 \text{ м ;} \quad Z_p'' = 2,7 \text{ м.}$$

Расход, который должен пропустить управляющий затвор в момент открытия основного плунжера, составит:

$$Q_{y.з.}^{max} = 0,785 M_{y.з.} (d_y^2 - d_w^2) \cdot \sqrt{2g Z_p''} = 0,785 \times 0,60 \times \\ \times (0,055^2 - 0,025^2) \cdot 2 \times 9,8 \times 2,7 = 8,2 \times 10^{-3} \text{ м}^3/\text{сек}$$

Диаметр дросселя (одного) -

$$d_{др.} = \sqrt{\frac{4 Q_{y.з.}^{max}}{M_{др.} \pi \sqrt{2g Z_p'}}} = \sqrt{\frac{4 \times 8,2 \times 10^{-3}}{0,61 \times 3,14 \times \sqrt{2 \times 9,8 \times 7,3}}}$$

$$= 38,0 \times 10^{-3} \text{ м.}$$

При выполнении дросселя в виде сетки из 12 отверстий, диаметр каждого отверстия

$$d'_{\text{др.}} = \frac{38,0}{\sqrt{12}} = 13,2 \text{ мм.}$$

Величина максимального хода управляющего плунжера (которая ограничивается шпилькой) должна быть равна :

$$a_{\text{у.п.}}^{\text{max}} = 0,71 (d_y - d_w) = 0,71 (55,0 - 25,0) = 21 \text{ мм}$$

Наибольшая погрешность стабилизации уровня -

$$\begin{aligned} \Delta h_{\kappa}^{\text{наиб.}} &= \pm \frac{1}{2} \left[a_{\text{о.п.}}^{\text{max}} + a_{\text{у.п.}}^{\text{max}} + \frac{2}{3} \lambda_p^{\text{min}} \left(\frac{\Phi_{\text{у.п.}}}{\Phi_{\text{п.}}} \right)^2 \right] = \\ &= \pm \frac{1}{2} \left(6,0 + 2,1 + \frac{2}{3} \times 300,0 \times \frac{5,75^2}{65,0^2} \right) = \\ &= \pm 5 \text{ см.} \end{aligned}$$

Б. ТИШАБАЕВ

АВТОМАТ ПОСТОЯННОГО РАСХОДА ВОДЫ ДЛЯ ВНУТРИ- ХОЗЯЙСТВЕННЫХ ВЫПУСКОВ

Ирригационные системы представляют собой комплекс взаимосвязанных оросительных каналов и гидротехнических сооружений, рассредоточенных на значительной территории. Распределение расходов большого числа гидросооружений на каналах значительной протяженности может быть обеспечено только комплексной автоматизацией ирригационного объекта, которая охватывает все операции, связанные с плановым водораспределением: управление, регулирование, измерение и контроль.

В нижнем, внутрихозяйственном, звене оросительных систем при комплексной автоматизации весьма рационально использовать вододействующие (гидравлические) устройства-водовыпуски — автоматы постоянного расхода. При наличии плавной регулировки (уставки) постоянных расходов они обеспечивают учёт расходов и стока (количества) воды, а также их регулирование [2,3].

В связи с потребностью большого количества водовыпусков на оросительной сети, исчисляемой тысячами, автоматы должны быть максимально простыми, стандартными и дешевыми.

В 1939 г. М.В.Бутыриным [1] была предложена и исследована, а в 1960 г. окончательно разработана конструкция пружинного автомата постоянного расхода "ПАР", состоящая

из подпружинного жесткого рычага с телом определенного очертания. Последнее, изменяя площадь истечения в отверстии выпуска, обеспечивает постоянный расход воды.

В 1964 г. проведены испытания по применению ПАР для трубчатых водовыпусков [4].

Основной недостаток автоматов типа ПАР — небольшой диапазон изменений расхода и некоторая сложность конструкции. В 1966 г. была исследована и разработана конструкция упрощенного варианта пружинного автомата с вращающимся щитком¹⁾.

При изменении горизонтов воды в верхнем и нижнем бьефах пропуск постоянного расхода воды в ороситель достигается автоматическим регулированием рабочего отверстия выпуска. Это осуществляется с помощью плоского вращающегося щитка в нижней части вертикального плоского затвора. Щиток с помощью троса, прикрепленного к его центру, соединен с пружиной, подвешенной к кронштейну. Последний находится в верхней части затвора.

Автомат (рис. 1.) состоит из следующих частей: плоского вертикального затвора (1) с винтовым подъемником, плоского вращающегося щитка (2), ось (3) которого смонтирована на 3-5 см выше нижней кромки затвора, троса (4) для соединения щитка с пружиной (5), подвешанной через болт с гайкой (6) к кронштейну (7).

Автомат устанавливается в водовыпусках с затопленным истечением нижнего бьефа. Принцип действия автомата заключается в том, что с возрастанием (или убыванием) перепада "Z" щит, вращаясь на горизон-

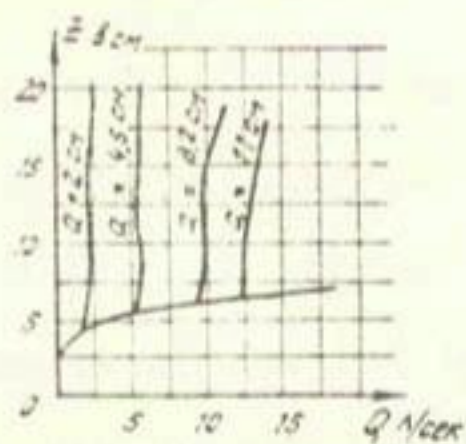
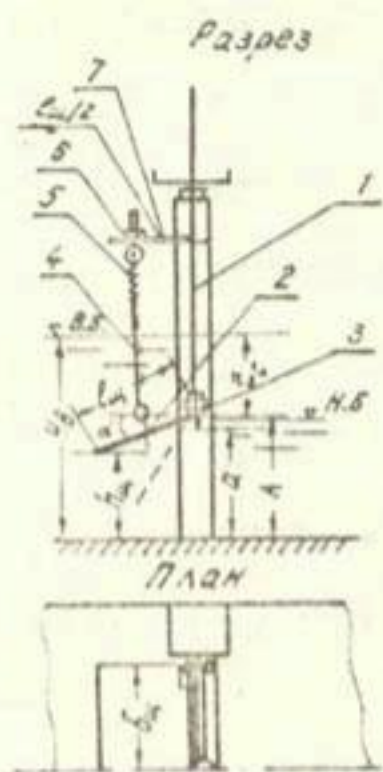


Рис. 1. Схема автомата расхода воды без доковых стенок у влода и расходная характеристика.

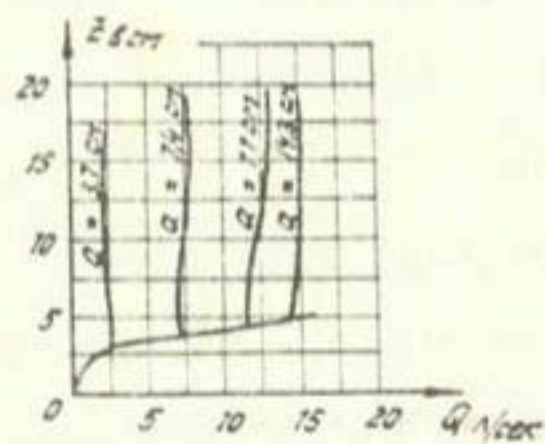
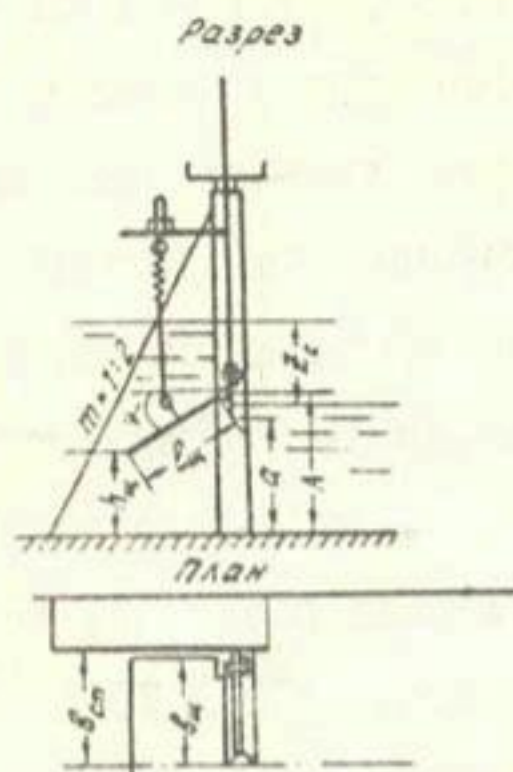


Схема автомата расхода воды с ныряющей стенкой у влода и расходная характеристика.



тальной оси, соответственно уменьшает (или увеличивает) площадь рабочего отверстия истечения. При этом равнодействующая давления воды " P " на вращающийся щиток изменяется пропорционально перепаду " Z ". Равнодействующая уравнивается силой растяжения пружины. Таким образом, чем больше " Z ", тем больше растянется пружина и вращающийся щиток прикрывает отверстие, образуя необходимую площадь истечения. Кроме вышеизложенного на истечение потока влияют гидравлические сопротивления, имеющие различные величины при изменении угла поворота щитка [2,3].

Автоматическое регулирование открытия щитка и изменение гидравлических сопротивлений соответственно изменению перепада " Z " создает условия для стабилизации расхода воды, истекающей из-под затвора с погрешностью не более $\pm 6\%$. Изменение уставки на новые расходы в данном автомате производится подъемом или опусканием плоского затвора от минимального до максимального его положения. Рейка постоянных расходов градуируется по зависимости $Q = f(a)$ и устанавливается на винтовом подъеме.

Таким образом, сооружение с подобным автоматом может выполнять функции регулирования и учёта расхода, а также суммарного стока по времени установки автомата на данное открытие затвора.

ЗАДАЧИ И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Задачи настоящих лабораторных исследований заключались в определении:

1. Наилучшего места крепления пружины к кронштейну по горизонтали.
2. Коэффициента расхода системы в зависимости от положения вращающегося щитка и напоров при затопленном и свободном истечениях в нижний бьеф сооружения.
3. Распределения и величины гидродинамических давлений воды на полотнище вращающегося щитка.
4. Влияния бокового протекания потока на коэффициент расхода и на подачу постоянного расхода воды из распределителя в выпуск оросителя при изменяющихся горизонтах верхнего и нижнего бьефов.
5. Оптимальных габаритов вращающегося щитка для достижения необходимых диапазонов изменения постоянных расходов воды.
6. Точности поддержания постоянного расхода, диапазона изменения расходов, устойчивости и надежности системы.

На основе этого было намечено выбрать рациональную конструкцию и разработать методику расчета автомата расхода.

Ввиду невозможности решения всех этих вопросов выбора (по всем переменным) на одном варианте модели, был применен метод исследования с изменением одной пе-

ременной при постоянстве других переменных на различных вариантах модели автомата. По предварительным расчётам последовательно изменяли размеры автомата. После выбора рациональных размеров вращающегося щитка $l_{щ}$ и $b_{от}$ изменяли длину рычага на щитке и положение пружины, размеры последней определяли предварительным расчётом. После определения габаритов автомата уточняли распределение гидродинамических и гидростатических сил на вращающийся щиток. Это проводилось для окончательного расчёта пружины. Такой метод исследования позволил нам правильно определить конструктивные элементы упрощенного пружинного автомата расхода.

В результате поисков и исследований для того, чтобы расход оставался практически постоянным или колебания его не превышали заранее заданного значения (не больше $\pm 5 \div 6\%$) установлено следующее (рис. I):

I. а) ширина вращающегося щитка $b_{щ} = b_{от}$

б) длина вращающегося щитка $l_{щ} = 0,4 b_{от}$

в) "А" высота открытия затвора от дна выпуска до оси вращающегося щитка при максимальном расчётном расходе воды

$$A = 0,8 b_{от}$$

с другой стороны

$$A = a + (3 \div 5) \text{ см} \quad \text{где:}$$

"а" - высота открытия плоского затвора.

г) длина кронштейна для зацепа пружины $l_{кр} = 0,5 l_{щ}$

2. Угол максимального прикрытия вращающегося щитка составляет с горизонтом $\alpha_{max} = 65^\circ$, минимальный угол $\alpha_{min} = 28^\circ$.

3. Для уточнения влияния бокового обтекания на коэффициент расхода и на подачу постоянного расхода воды из распределителя в выпуск при изменяющихся горизонтах верхнего и нижнего бьефов нами были проведены исследования в двух формах входа:

1) с прямым входом (без боковых стенок) и

2) с параллельными ныряющими стенками у входа.

Опыты проводились на основном стенде лаборатории в натурном масштабе. В результате установили, что, когда $\alpha_{max} = 65^\circ$, ξ_{max} и соотношение $\frac{A}{B} = 0,8$ для первого случая (без боковых стенок) коэффициент расхода системы остается почти постоянным $M_c = 0,66$ с максимальной погрешностью $\Delta_{max} = \pm 6\%$. Для второго варианта (с параллельными ныряющими стенками у входа) $M_c = 0,580$.

4. Трос в нижней части прикрепляется к рычагу, который перпендикулярно и жестко приваривается к центру тяжести вращающегося щитка, длина рычага принята $l_{рчч} = 0,7 l_{щ}$

5. При ξ_{max} и $\alpha_{max} = 65^\circ$, максимальное прикрытие щитка $k_{щит} = 0,44 v_{от}$, где $k_{щ}$ - открытие вращающегося щитка.

6. По опытным данным приведены графики (рис. I) поддержания постоянных расходов при различных открытиях затвора, откуда видно, что диапазоны изменения расхода 6-7 раз, колебания ξ - 3-4 раза, точность регулирования 5-6%.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА АВТОМАТА

Для удобства все расчёты проводили при максимальных значениях Q_{max} ; z_{max} ; и L_{max} . Расход воды через автомат (водовыпуск) выражается по формуле

$$Q_{max} = \mu_c \cdot \omega \sqrt{2g z_{max}} \quad (I)$$

Отсюда определяем площадь истечения

$$\omega = \frac{Q_{max}}{\mu_c \sqrt{2g z_{max}}} \quad (2)$$

в тоже время

$$\omega = h_{ш} \cdot b_{от} \quad (3)$$

где $h_{ш}$ — высота открытия вращающегося щитка при максимальном открытии затвора,

$b_{от}$ — ширина отверстия автомата.

При z_{max} и $L_{max} = 65^\circ$ максимальная высота открытия щитка $h_{ш} = 0,44 b_{от}$ (4)

Подставляя (4) в формулу (I), имея в виду (3), определяем ширину отверстия автомата

$$b_{от} = 0,72 \sqrt{\frac{Q_{max}}{\mu_c \sqrt{z_{max}}}} \quad (5)$$

Таким образом при известных и заданных для данного водовыпуска Q_{max} , z_{max} и μ_c можно сразу по формуле (5) определить ширину отверстия выпуска $b_{от}$, а затем по (4) минимальную высоту открытия щитка $h_{ш}$.

Остальные размеры соответственно определяются по соотноше-

ниям: $b_{ш} = 0,4 b_{от}$; $l_{ш} = b_{от}$; $A_{max} = 0,8 b_{от}$ и др. Для любых перепадов z для данного Q

$$h_{ш} = \frac{Q}{\mu \cdot b_{от} \sqrt{2g \cdot z}} \quad (6)$$

Из схемы автоматов имеем следующую запись

$$A = h_{ш} + l_{ш} \cdot \sin \alpha = h_{ш} + h_1 \quad (7)$$

где h_1 - высота от кромки до горизонтали, проходящей через ось. Так как для данного расхода высота "A" остается постоянной, а " $h_{ш}$ " и " h_1 " меняются с изменением перепада и угла наклона α , то по зависимости (6) и (7) определяем положение нижней кромки вращающегося щитка (для любого угла наклона) от горизонтали, проходящей через ось.

$$h_1 = A - \frac{Q}{\mu \cdot b \sqrt{2g \cdot z_c}} \quad (8)$$

Угол наклона вращающегося щитка для соответствующего перепада

$$\sin \alpha = \frac{h_1}{l_{ш}} \quad (9)$$

РАСЧЁТ ПРУЖИНЫ

Максимальная равнодействующая давлений воды вращающегося щитка (затопленное истечение) следующая

$$P = \gamma \cdot f_{ш} \cdot z_{max} \quad (10)$$

где γ - объемный вес воды ;

$f_{ш} = b_{ш} \times l_{ш}$ - площадь вращающегося щитка.

Для расчёта пружины перепад системы z принимаем

$2/3 \dot{x}_{max}$ (при $\sigma_{max} = 65^\circ$) .

Тогда максимальная нагрузка на пружину

$$N = j \cdot f_{ш} \cdot 2/3 \dot{x}_{max} \quad (10a)$$

Для различного открытия щитка и угла наклона при соответствующих перепадах растяжение пружины определяем по формуле

$$l_{пр} = 0,5 l_{ш} [\sin(\alpha_1 - \beta) - \sin(\alpha_2 - \beta)] \quad (11)$$

где α_2 - начальное положение щитка (при $\dot{x}_{max}$) ;

α_1 - любое положение щитка (при различных $\dot{x}$) ;

$\beta = 8^\circ$ - постоянная.

Максимальное растяжение пружины $l_{пр max} = 0,25 l_{ш}$ (12)

диаметр пружины

$$\phi = \frac{16 d^3}{N_k} \quad (13)$$

Относительное растяжение пружины на один кг

$$h = \frac{l_{пр max}}{N} \quad (14)$$

Число витков пружины

$$n = \frac{1000 \cdot d^4 \cdot h}{\phi^3} \quad (15)$$

где d - диаметр проволоки задается с условием ϕd не менее 4 мм. Здесь ϕ и d в мм, а N - в кг.

После изготовления пружины рекомендуется протарировать весовым способом и составить характеристику $l_{пр} = f(N)$

ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

На рис. 2 приведена металлоконструкция упрощенного пружинного автомата постоянного расхода воды от 8 до 40 л/сек.

Для внутрихозяйственной оросительной сети рекомендуется два стандарта автоматов, размеры которых указаны в следующей таблице. Первый стандарт для участковых оросителей, второй - для временных.

Q	Q	ξ	ξ	B	A	ℓ	b	ℓ	размеры пружин	α°	α°
max	min	max	min	от	max	ш	ш	пр	мм:мм:кол	max	min
л/сек	л/сек	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм			без воды
1. 200	40/50	300	80	590	470	240	590	17	3 18 30	65°	23°
2. 40	8/10	250	60/70	250	200	100	250	7	1,5 13 14	68°	28°

После производственного апробирования автоматов рекомендуется централизованное (серийное) изготовление их на заводах и в мастерских. В случае необходимости можно запроектировать автоматы и на другие диапазоны расходов.

Водовыпуски с плоскими затворами при незначительном дооборудовании (вращающимся щитком и пружиной), существующие на оросительных системах, могут быть превращены в вышеописанные автоматы расхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутырин М.В. - Внутрихозяйственный пружинный автомат постоянного расхода воды ПАР, "Вопросы гидротехники", выпуск 4, Ташкент, 1962

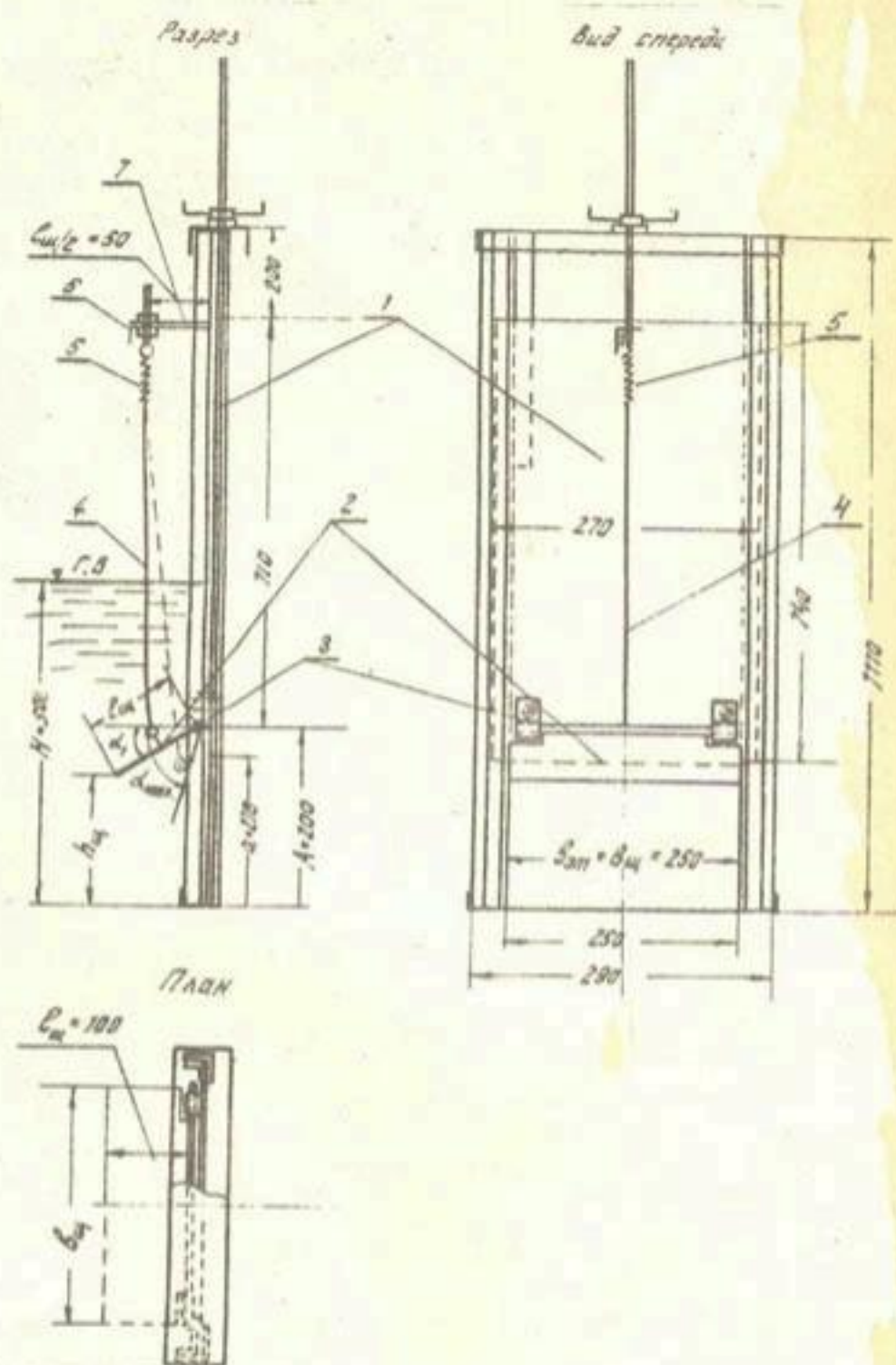


Рис. 2. Пружинный автомат расхода с вращающимся щитком - 40/8

2. И.Б.Хамадов, А.А.Гартунг, Л.С.Литвак, Л.А.Ом. Авторское свидетельство № 168025 (1963).

3. И.Б.Хамадов, А.А.Гартунг. Автоматические затворы с постоянным расходом воды для водовыпусков оросительных каналов, "Гидротехника и мелиорация", вып. 8, М., 1966.

4. Б.Тишабаев. Пружинный автомат расхода воды для трубчатых выпусков, "Вопросы гидротехники", вып.32, САНИИРИ, Ташкент.

Б. ТИШАБАЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛ ДАВЛЕНИЯ ВОДЫ, ДЕЙСТВУЮЩИХ
НА ВРАЩАЮЩИЙСЯ ЩИТОК ПРУЖИННОГО АВТОМАТА

Принцип работы большинства автоматических водорегулирующих устройств основан на уравнивании сил воздействия потока, с одной стороны, и конструкции (противовес, пружина и т.д.) - с другой. В этом случае основным фактором, приводящим в движение затвор, - гидродинамическая сила давления, воздействующая непосредственно на обшивку подвижной части затвора, величина которой с открытием автомата может меняться по определенной закономерности. Знание ее позволяет произвести конструктивный расчёт автоматов [1].

Необходимость таких расчётов для пружинного автомата расхода с вращающимся щитком потребовала проведения исследований по определению сил воздействия потока на его подвижную часть [2].

Пока нет общих теоретических решений по установлению гидродинамических сил давления на затворы различной конфигурации. Поэтому при необходимости точного учёта гидродинамических сил для каждого индивидуального сооружения приходится прибегать к лабораторным изучением их на моделях.

Принцип действия автомата (рис. 1), устройство которого описано в статье того же автора в данном сборнике, заключается в том, что с возрастанием (или убыванием) напора "H" щит, вращаясь на горизонтальной оси, соответственно умень-

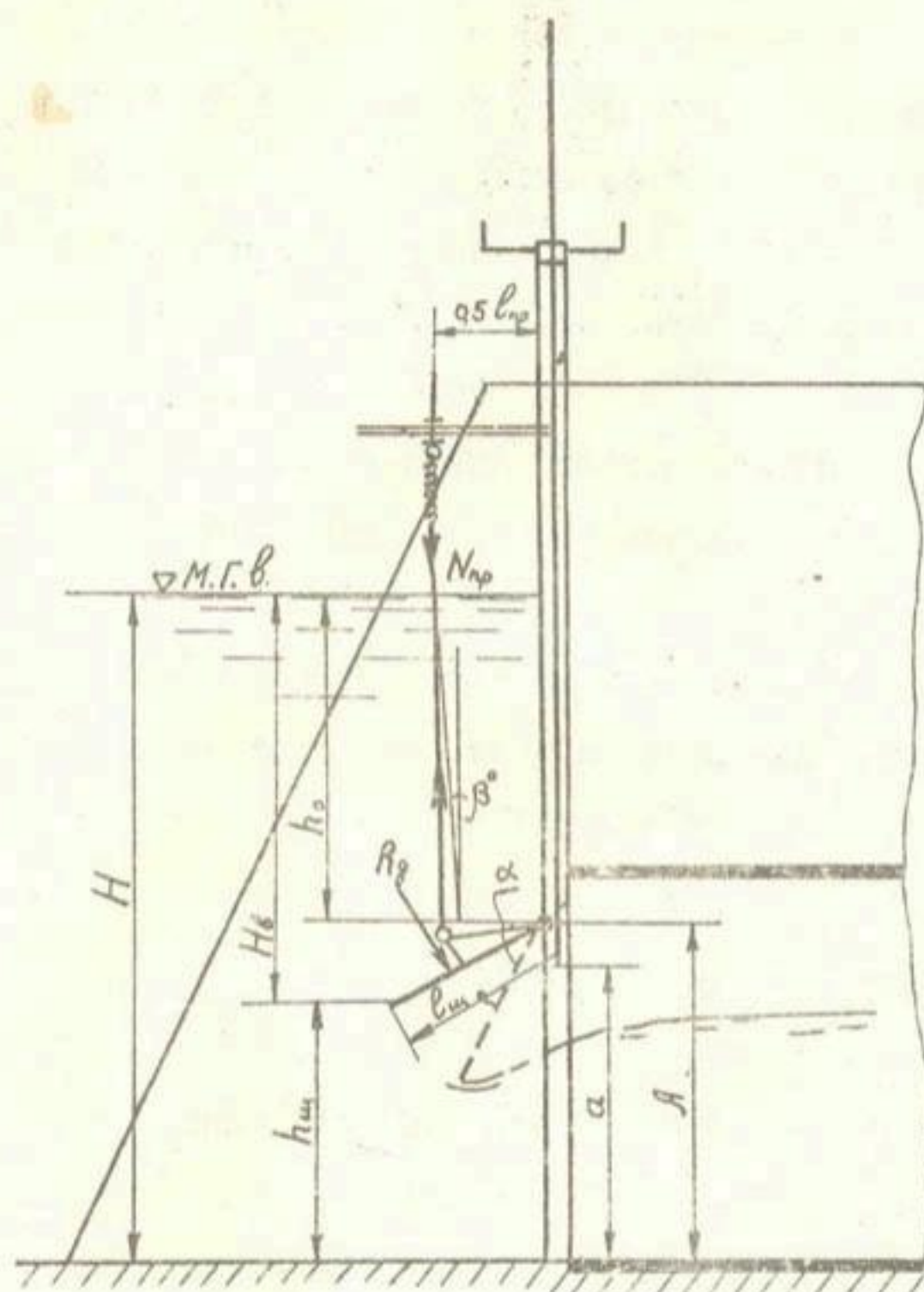


Рис. 1. Схема модельной установки "Определение сил давления воды, действующих на вращающийся щиток пружинного автомата."

шает (или увеличивает) площадь рабочего отверстия истечения. При этом равнодействующая давления воды " P " на вращающийся щиток изменяется пропорционально напору " H ". Равнодействующая уравнивается силой растяжения пружины. Таким образом, чем больше " H " тем больше растянется пружина, и вращающийся щиток прикрывает отверстие, образуя необходимую для $Q = const$ площадь истечения. Кроме того, на истечение потока влияют величины гидравлических сопротивлений, имеющие значение при изменении угла поворота щитка [3].

Автомат относится к системам прямого регулирования, статического действия. Для расчёта данного автомата применим закон равенства моментов сил :

$$M_{пр} = (M_{г.в.} + M_{с.в.} \pm M_{тр}), \quad (1)$$

где $M_{пр.}$ — момент растяжения пружины ;

$M_{г.в.}$ — момент давления воды на щиток ;

$M_{с.в.}$ — момент от собственного веса движущихся частей;

$M_{тр.}$ — момент трения вращения оси в подшипниках.

Так как величина $M_{тр.}$ очень мала, ею можно пренебречь:

$$M_{пр.} = M_{г.в.} + M_{с.в.} \quad (2)$$

Конструкция автомата-регулятора отличается простотой и, как показали исследования, обладает допустимой точностью стабилизации расхода воды [2].

Для обеспечения автоматической работы затвора необходимо, чтобы действующие силы находились в равновесии при любом положении щитка в пределах автоматизации от Q_{min} до

Q_{max} , при соответствующих допустимых изменениях напора (H) и перепадах системы ($\mathcal{X}_c$).

В рассматриваемой конструкции с перемещением положения вращающегося вокруг оси щитка изменяется как сила давления потока на него $P_{г.г.}$, так и его плечо ℓ_p , а растяжение пружины изменяется по линейной зависимости от $P_{г.г.}$.

Рычаг жестко и перпендикулярно приваривается к центру тяжести щитка. На основании опытов определим длину рычага и примем ее такой:

$$\ell_{рыч.} = 0,7 \ell_{щ.} \quad (3)$$

Введение в конструкцию автомата рычага на вращающемся щитке позволяет создать условия для работы пружины в диапазоне, не превышающем нормальные режимы и изменять площадь рабочего отверстия (обратно пропорционально $\sqrt{\mathcal{X}_c}$) для регулирования постоянного расхода истечения.

В настоящей работе приводятся зависимости для определения координат центра приложения и моментов сил давления воды. На рис. 2 даны эпюры распределения гидродинамического и гидростатического давлений воды на щиток. Истечение ее из-под щитка свободное, с боковыми выходящими стенками у входа. Из рис. 2 видно, что гидродинамическое давление $P_{г.г.}$ незначительно отклоняется от гидростатического (не более, чем на 4%). Поэтому, для расчёта автомата принимаем:

$$P_{г.г.} \doteq P_{г.ст.} \quad (4)$$

Применяя законы гидростатики [4], рассмотрим давление жидкости на щиток, наклоненный к горизонту под углом $\mathcal{A}$ (рис. 2). Верхняя кромка щитка погружена под свободную поверхность

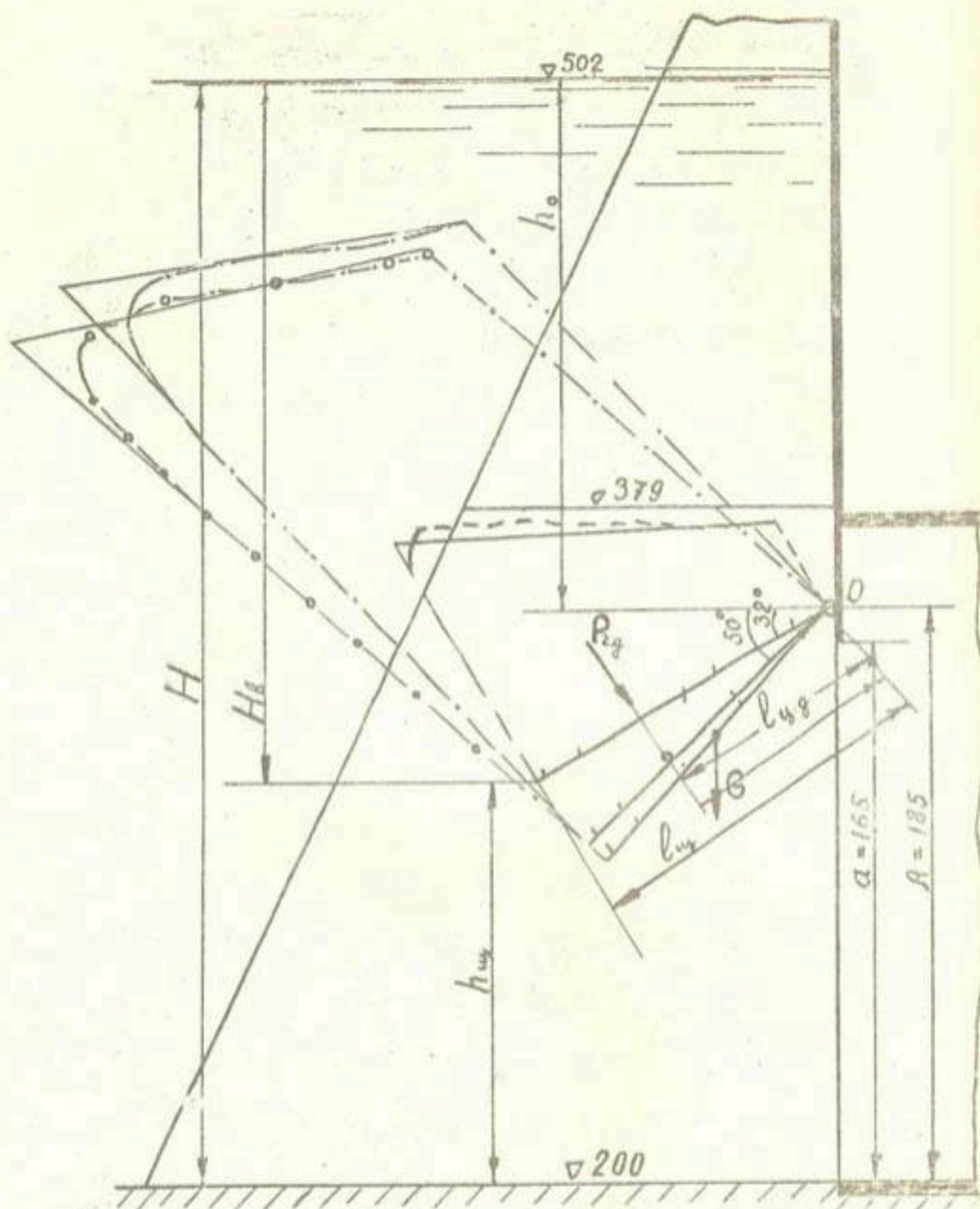


Рис.2. Эпюры распределения давления воды на щиток
(истечение воды из-под щитка свободное) при
напорах
 $H_1=17,9\text{см}$; $H_2=30,2\text{см}$; $H_3=30,5\text{см}$.

— — — — — гидродинамическое
— • — • — • — — — — — гидростатическое

на глубину $h_0 = H - A$ (5), нижняя - $H_c = H - (A + l_{ш} \cdot \sin \alpha)$ (6)

где A - высота положения оси щитка от дна затвора-водовыпуска ;

H - глубина воды перед затвором ;

$l_{ш}$ - длина вращающегося щитка.

Определяем площадь прямоугольного плоского щитка и координату центра тяжести ее относительно свободного горизонта воды в верхнем бьефе:

$$\omega_{ш} = b_{ш} \cdot l_{ш} \quad (7)$$

$$h_c = h_0 + 0,5 l_{ш} \cdot \sin \alpha \quad (8)$$

Силу гидростатического давления на вращающийся щиток найдем по формуле гидростатики с учётом зависимостей (5) и (6):

$$P_{г.г.} = \gamma \cdot \omega \cdot h_c = \gamma \cdot b_{ш} \cdot l_{ш} (h_0 + 0,5 \cdot l_{ш} \cdot \sin \alpha) \quad (9)$$

Подставляя сюда (5) , получим

$$P_{г.г.} = \gamma \cdot \omega_{ш} (H - A + 0,5 \cdot l_{ш} \cdot \sin \alpha) \quad (10)$$

Определяем положение центра давления относительно оси щитка O . Центр давления совпадает с центром тяжести трапецеидальной эпюры давлений, действующих на щиток. Из рис.2

$$l_{ц.г.} = l_{ц.т.} = \frac{l_{ш}}{3} \cdot \frac{h_0 + 2H_c}{h_0 + H_c} \quad (11)$$

Подставляя (5) и (6), получим

$$l_{ц.г.} = \frac{l_{ш}}{3} \cdot \frac{3H - 3A + 2l_{ш} \cdot \sin \alpha}{2H - 2A + l_{ш} \cdot \sin \alpha} \quad (12)$$

Раскрывая уравнение моментов (2), имеем

$$M_{g.g.} = P_{g.g.} \cdot l_{g.g.} \quad (I3)$$

где $P_{g.g.}$ - известно по формуле (I0) и $l_{g.g.}$ - по (I2)
Момент от силы растяжения пружины

$$M_{np.} = N_{np.} \cdot 0,5 l_{ш.} \cdot \cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \varphi \quad (I4)$$

здесь $N_{np.}$ - сила, передаваемая на пружину по тросу ;
 $0,5 l_{ш.} \cos(\alpha - \beta)$ - ее плечо относительно оси щитка ;
 β - постоянный угол между щитком и линией, соединяющей ось с вершиной рычага ;
 φ - угол между вертикалью и тросом с пружиной
(при различных положениях щитка). В дальнейшем в расчетах углом φ пренебрегаем в силу ее незначительности ($\varphi = 3 \div 4\%$).

Момент от силы собственного веса щитка

$$M_{c.g.} = 0,5 \cdot l_{ш.} \cdot \cos \alpha \quad (I5)$$

Согласно уравнению (2)

$$P_{g.g.} \cdot l_{g.g.} + 0,5 l_{ш.} \cdot \cos \alpha = N_{np.} \cdot 0,5 l_{ш.} \cdot \cos(\alpha - \beta)$$

Отсюда определяем силу, действующую на пружину:

$$N_{np.} = \frac{P_{g.g.} \cdot l_{g.g.} + 0,5 l_{ш.} \cdot \cos \alpha}{0,5 l_{ш.} \cdot \cos(\alpha - \beta)} \quad (I6)$$

РАСЧЁТ ПРУЖИНЫ

Для различного открытия щитка и углов наклона при соответствующих изменениях напора " H " растяжение пружины определяем по формуле

$$\Delta l_{np.} = 0,5 l_{ш.} [\sin(\alpha_1 - \beta) - \sin(\alpha_2 - \beta)], \quad (I7)$$

где α_i - любое положение щитка (при различных H) ;

α_2 - начальное положение щитка (или при H_{min}) ;

Максимальное растяжение пружины определяем при α_{max} и H_{max} . Максимальную нагрузку $N_{пр. max}$, приходящуюся на пружину, найдем по формуле (16). Относительное линейное растяжение пружины на один кг нагрузки давления воды

$$h = \frac{\Delta \ell_{пр. max}}{N_{пр. max}} \quad (18)$$

Задаваясь диаметром проволоки " d " с условием $\Phi_{ср}/d$ не менее 4 ($\Phi_{ср}/4 \geq d$) определяем диаметр пружины $\Phi_{ср}$ по формуле (5):

$$\Phi_{ср} = \frac{16 d^3}{N_{пр}} \quad (19)$$

где $\Phi_{ср}$ - средний диаметр витков,
а число витков

$$n = \frac{1000 d^4 h}{\Phi^3} \quad (20)$$

(здесь $\Phi_{ср}$ и d в мм, а $N_{пр}$ в кг).

После изготовления пружины рекомендуется ее протарировать весовым способом и составить характеристику $\ell_{пр} = f(N_{пр})$

Расчётные значения моментов гидродинамических сил, действующих на щиток и пружины, полученные по зависимостям (10), (12) и (16) с использованием формул (13), (14), сопоставлялись с опытными, в пределах рабочего диапазона пружинного автомата расхода, расхождение не превышает $\pm 5\%$.

В Ы В О Д Ы

Результаты опытов показывают, что моменты сил гидродинамического давления потока на щиток автомата близки гидростатическим (расхождение составляет $5 \pm 6\%$). Поэтому расчёты можно проводить по предложенным зависимостям для частного решения упрощенного пружинного автомата постоянного расхода воды с вращающимся щитком. Зависимости позволяют определить для различных открытий:

1) величину силы давления воды на щиток; 2) координаты центра приложения сил, давления воды на щиток; 3) моменты уравновешивающих сил и силу растяжения пружины относительно оси вращения O ; 4) линейную величину растяжения пружины от силы $N_{пр}$.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Хамадов И.Б. Автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук, "Гидродинамический расчет и пропускная способность некоторых типов затворов-автоматов горизонта воды верхнего бьефа", Ташкент, 1964.
2. Тишабаев Б. Автоматы постоянного расхода воды для внутрихозяйственных выпусков (в данном выпуске).
3. Хамадов И.Б., Гартунг А.А. Автоматические затворы с постоянным расходом

воды для водовыпусков оросительных
каналов, "Гидротехника и мелиорация",
вып.8, М., 1966.

4. Богомолов А.И., Михайлов К.А.

"Гидравлика, М., Изд. литературы по строи-
тельству, 1965.

5. Б у т ы р и н М.В. Внутрехозяйственный пружинный
автомат постоянного расхода воды ПАР,

"Вопросы гидротехники", вып. 4, Ташкент,
1962 .

$\geq 0,001$

БОРОЗДКОВЫЙ РАСХОДОМЕР С
САМОЗАПИСЫВАЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ (БРС-63)

Полив хлопчатника по бороздам — самый распространенный способ поверхностного орошения.

Несмотря на то, что этот способ существует сравнительно давно, до настоящего времени вопросы о поливных нормах при разных уклонах и длинах борозд, величине расхода воды, подаваемой в каждую борозду, обеспечивающей равномерное увлажнение поливного участка и другие изучены недостаточно.

С этой целью проводят исследования в полевых условиях, при этом стремятся обеспечить высокую точность измерения воды, подаваемой на полив.

Головные расходы временного оросителя и выводной борозды измеряют водосливами Чиполетти и Томпсона, а расходы каждой борозды — только водосливами Томпсона.

Для правильной работы водосливов необходимо обеспечить командование горизонтов. Так, горизонт воды в выводной борозде должен быть на 12-15 см выше, чем в борозде.

Расходы воды по длине борозды также измеряются водосливами. Но это приводит к созданию подпора и неравномерному увлажнению почвы по длине борозды и участку в целом. Такие подпоры нежелательны, особенно на уклонах борозд: $i_{\text{бор}} \leq \leq 0,001$.

Для определения расходов воды в голове и по длине борозды можно использовать такой водомер, который создает минимальный подпор или перепад в 30-40 мм, обеспечивает

необходимую точность измерения (2-3%) и позволяет автоматизировать запись расхода на ленту по времени. Таким водомером может служить предложенный нами б о - р о з д к о в ы й р а с х о д о м е р с прибором ДРС-60 и самозаписывающим устройством.

Назначение, конструкция и принцип действия бороздкового расходомера

Бороздковый расходомер предназначен для измерения малых расходов на борозде (0,15-3,0 л/сек) при незначительном перепаде давлений.

Наибольший перепад при измерении максимального расхода достигает 30-40 мм, наименьший - 1-2 мм.

Расходы воды можно измерять как в голове, так и в любой точке по длине борозды.

Конструкция расходомера (рис.1) состоит из металлической коробки с двумя отсеками (1) и (2). В дно первого отсека (1) вертикально заделан патрубок (3) с закругленной кромкой входа. В патрубке помещается поршень (4) меньшего диаметра, образующий кольцевое отверстие. Он имеет жесткий или гибкий подвес, соединенный с прибором (5) динамическим расходоуказателем ДРС-60. Прибор помещается над патрубком на металлическом кронштейне, прикрепленном к коробке расходомера. В рабочем положении коробка расходомера находится в углублении дна борозды.

Принцип действия расходомера состоит в следующем.

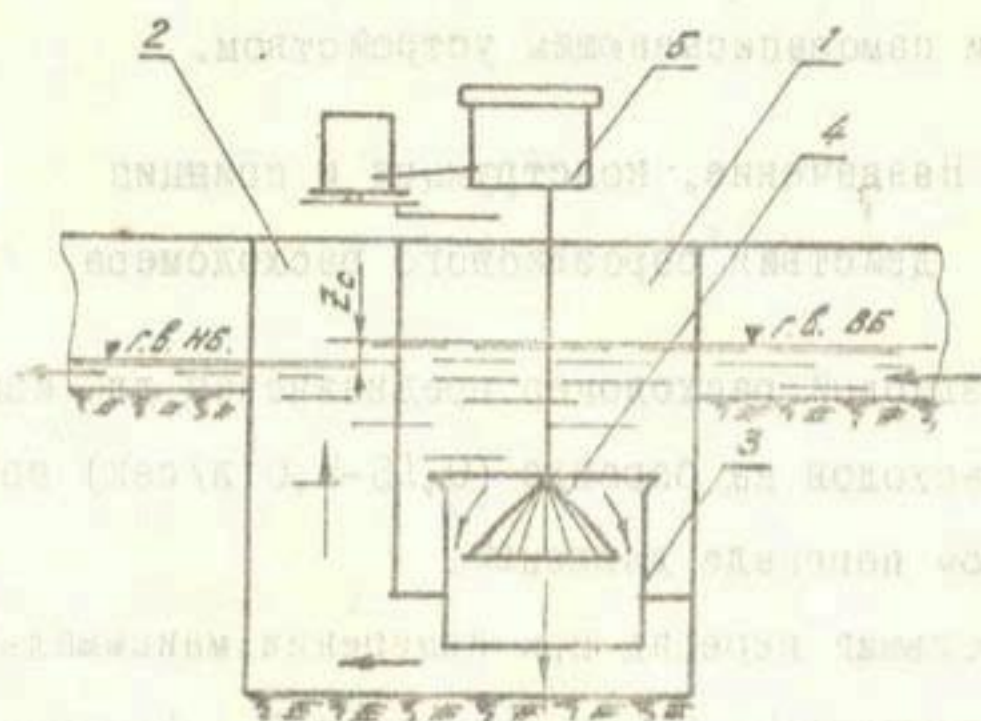


Рис.1. Схема бороздкового расходомера с

прибором ДРС-60 и самописцем.

Вода, поступающая в первый отсек, через кольцевое отверстие патрубка перетекает во второй, откуда вытекает в борозду.

При перетекании воды через кольцевое отверстие, поршень в патрубке находится под воздействием двух давлений: верхнего (первый отсек) и нижнего (второй).

Разность указанных давлений, возрастающая с увеличением расхода воды, заставляет поршень перемещаться вниз.

Прибор - динамический расходоуказатель ДРС-60, к которому прикреплен поршень, фиксирует показания расхода на шкале циферблата.

Расход воды, проходящий через патрубок с поршнем, определяется по формуле

$$Q = K \omega_k \sqrt{2g Z_k} \quad (1)$$

где Q - расход, л/сек;

K - коэффициент расхода водомера;

ω_k - площадь кольцевого отверстия;

Z_k - водомерн и перепад давлений.

Бороздковый расходомер имеет три поршня разных диаметров. Каждый из них служит для пропуска и измерения определенного расхода воды: поршень № 1 - для измерения расхода от 0,15 до 0,6 л/сек, № 2 - от 0,3 до 1,9, № 3 - от 0,6 до 3,0.

В зависимости от величины измеряемого расхода к прибору подвешивается один из поршней, а расход читается по соответствующей шкале циферблата. Для этого на циферблат

находятся две или три расходных шкалы в зависимости от числа типоразмеров поршней.

Основные вопросы и методика лабораторных исследований

Лабораторные исследования натурального расходомера проводились в целях :

а) уточнения размеров патрубка и поршня, образующих кольцевой зазор, для пропуск и измерения расходов воды до одного, двух и трех литров в секунду при перепадах давлений (Z_c), не превышающих 30 мм) ;

б) выявления зависимости расхода воды от угла поворота стрелки водоучитывающего прибора $Q = F(\varphi)$ для трех диаметров поршней при постоянном диаметре патрубка;

в) определения значений коэффициентов расхода водомера " K ", которые необходимы для расчета расходных шкал прибора ДРС-60 ;

г) нахождения погрешности измерения расхода воды.

Для проведения лабораторных работ, согласно предварительным расчетам, нами изготовлен бороздковый расходомер с патрубком диаметром $D_{пат} = 177$ мм и тремя сменными поршнями ($d_1 = 160$ мм, $d_2 = 164$, $d_3 = 172$), обеспечивающими пропуск и измерение трех различных расходов в пределах 3,0 - 0,2 л/сек.

В качестве измерительного прибора использован динамический расходоуказатель ДРС-60, выпускаемый заводом ирригационного приборостроения МВХ УзССР.

К прибору ДРС-60 поочередно подвешивали каждый и через установку пропускали воду, расход которой с погрешностью $\Delta Q(\Delta H) = \pm 1,0-1,5\%$ треугольным сливом Томпсона протарированным весовым способом. Над порогом водослива определяли с помощью мерной точностью до $\Delta H = \pm 0,1-0,2$ мм.

Разность горизонтов воды первого и второго отсека расходомера измеряли пьезометром с точностью $\Delta Z_c = \pm 0,1$ мм. Для разных измеряемых расходов воды записывали показания прибора в градусах.

Результаты лабораторных исследований

1. Размеры бороздкового расходомера, патрубков и сменных поршней

Лабораторные исследования натурального образца бороздкового расходомера позволили установить размеры металлической коробки, патрубка и трех сменных поршней.

Размеры металлической коробки с двумя отсеками: высота $H_{кор} = 450$ мм; ширина $B_{кор} = 300$ мм; длина $L_{кор} = 400$ мм. Сечение первого отсека в плане 300×300 мм; второго - 300×100 мм.

Объем коробки, наполненной водой до отметки днища, составляет $W_{кор} = 36$ л.

Размеры патрубка постоянны: внутренний диаметр $d_{вн} = 177$ мм; длина (высота) $L_{пат} = 140$ мм; радиус закругления кромок входа $r_{вх} = 14$ мм.

Расход в пределах $3,0-0,15$ л/сек определяется с помощью

поршнями разных диаметров: $d_1 = 160$ мм для расхода бороздки 0,4-3,0 л/сек; $d_2 = 164$ мм - 0,3-2,0 л/сек; $d_3 = 172$ мм - 0,15-0,75 л/сек.

По данным, полученным при лабораторных исследованиях бороздкового расходомера с поршнями трех диаметров, построены графики зависимостей расхода от диаметров смежных поршней $Q = F(d)$ и площадей кольцевых отверстий $Q = F(\omega_k)$ (рис. 2), а также график зависимости водомерного перепада $Z_k = F(d)$ и коэффициента расхода $K = F(d)$ от диаметров поршней (рис. 3).

При изготовлении расходомера можно пользоваться графиком, приведенным на рис. 2 для определения диаметра поршня (d) при той или иной величине измеряемого максимального расхода воды, а по графику на рис. 3 находится значение коэффициента расхода водомера " K ".

2. Зависимость расхода воды от угла поворота стрелки водоучитывающего прибора

При лабораторных исследованиях бороздкового расходомера с поршнями трех размеров ($d_1 = 160$ мм, $d_2 = 164$ мм и $d_3 = 172$ мм) и постоянным диаметром патрубка $D = 177$ мм установлено, что угол поворота стрелки прибора определяет величину расхода воды, проходящего через кольцевое отверстие между стенками патрубка и поршня.

Полученные в опытах данные для каждого диаметра поршня сведены в табл. 1, 2 и 3, на основании которых получены графики зависимости $Q = F(\sqrt{\varphi})$ (рис. 4).

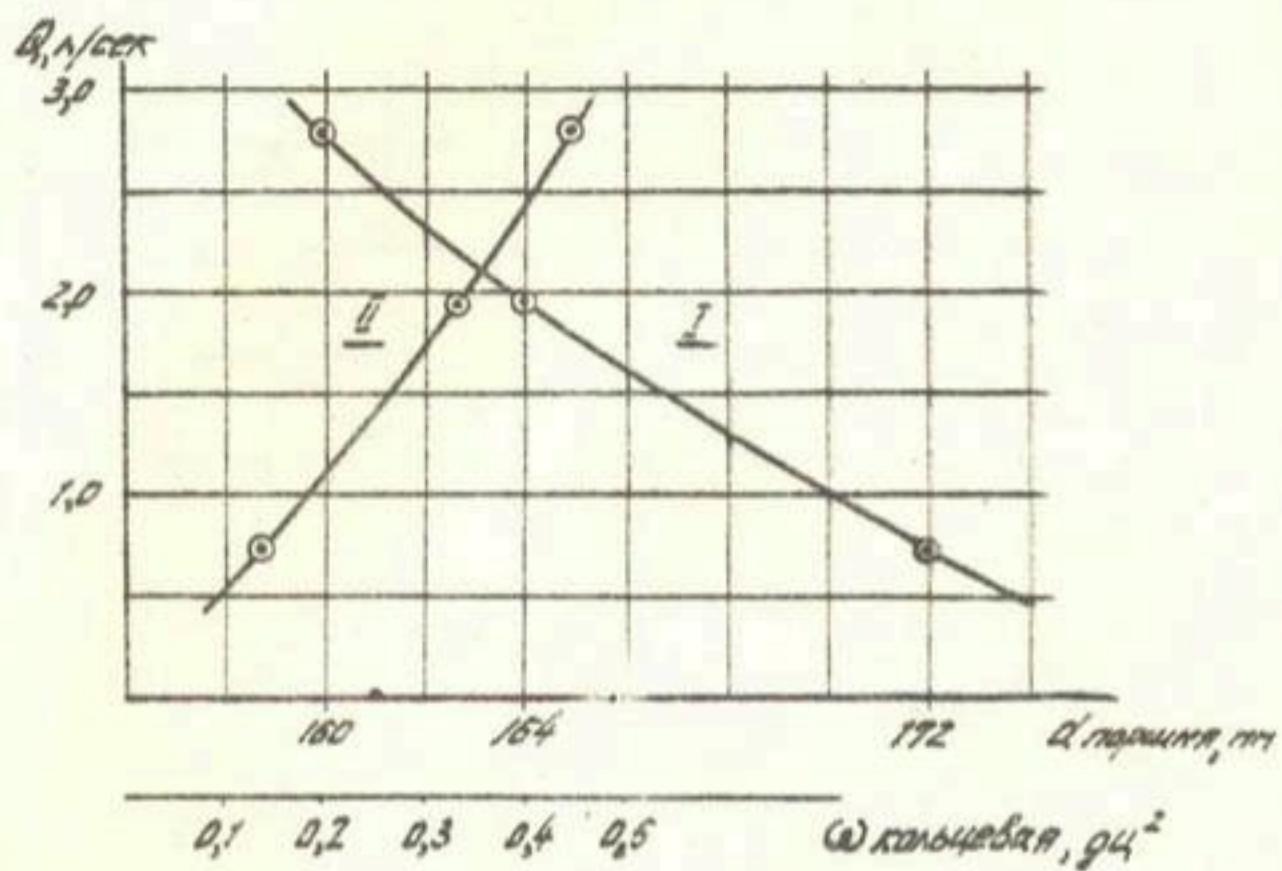


Рис. 2. График зависимостей $Q = F_1 (\alpha_{нор})$ и $Q = F_2 (\omega^2)$ бороздкового расходомера.

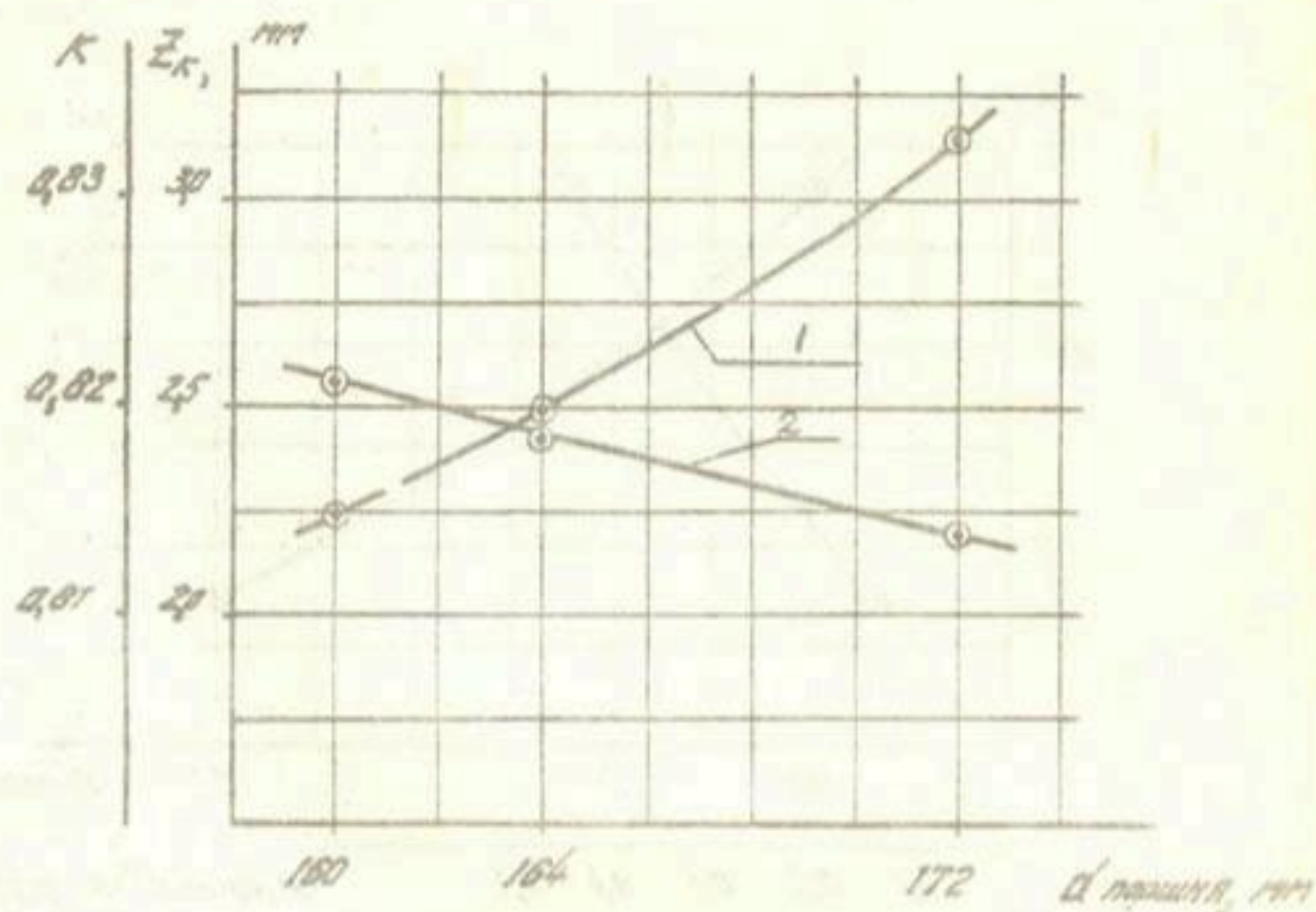


Рис. 3. График зависимостей $K = F(\alpha_{пор})$ и $Z_K = F(\alpha_{пор})$ бороздкового расходомера.

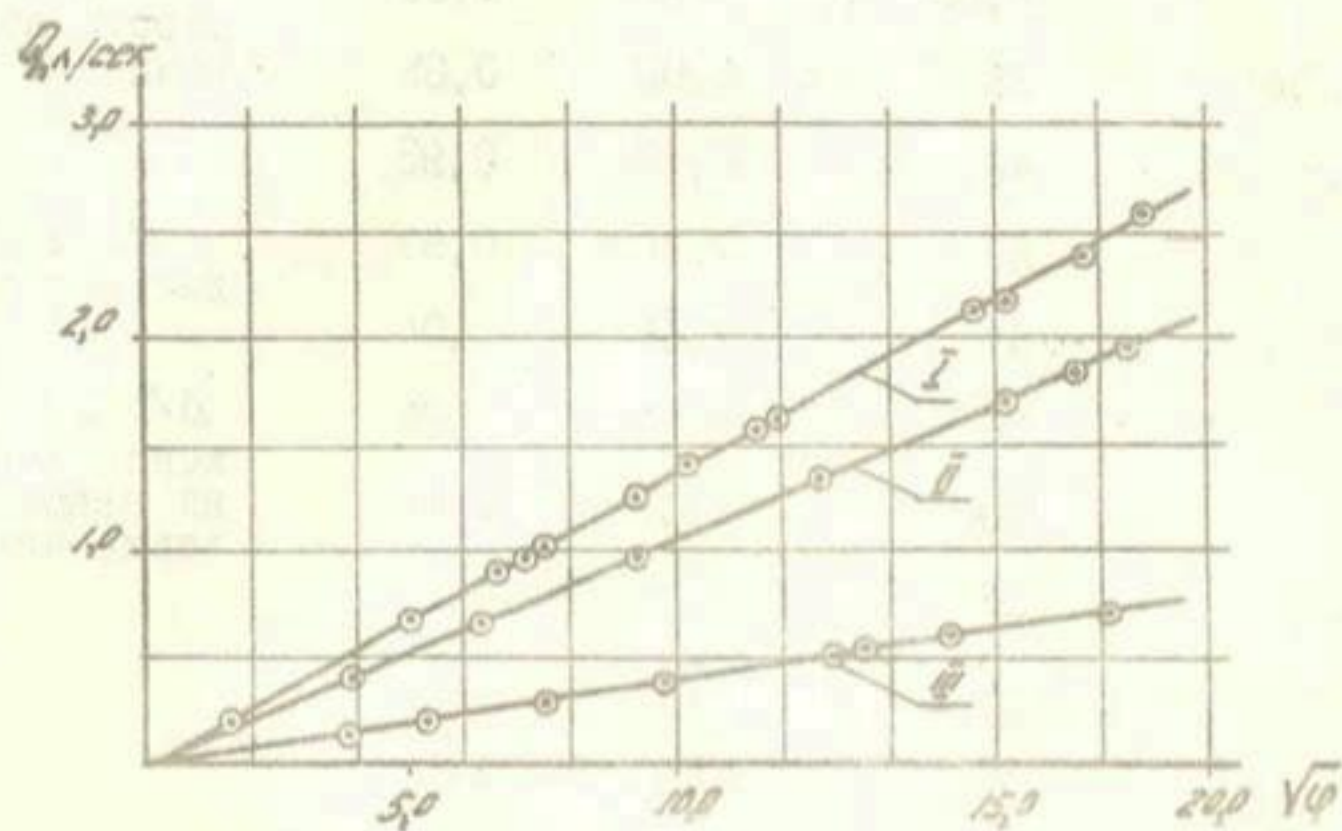


Рис. 4. График зависимости $Q = F(\sqrt{p})$ бороздко-
вого расходомера.

Таблица 1

Перепад системы (Z_c), мм	Отклонения стрелки при- бора (φ), градусы	$\sqrt{\varphi}$	Расход воды по мернику (Q), л/сек	Показатель
	2,55	1,60	0,22	3586 отметка порога водослива Томпсона
2,25	25	5,00	0,69	
3,9	46	6,77	0,98	
5	52	7,20	0,97	$d_1 = 160$ мм - диаметр поршня
6	57	7,55	1,04	
9	86	9,28	1,25	$\Delta h = 0$ - погружение верха поршня относительно верха патрубка
9	106	10,3	1,41	
11	134	11,6	1,58	
14	144	12,0	1,68	
22	250	15,7	2,18	
25	265	16,3	2,19	
28	318	17,8	2,41	
32	356	18,9	2,62	

Таблица 2

1,07	15,6	3,97	0,42	3586 - отметка порога водослива Томпсона
3,24	36,4	6,4	0,68	
7,1	88	9,38	0,98	
13,0	163	12,78	1,35	$d_2 = 164$ мм - диаметр поршня
21,0	264	16,26	1,70	
24,0	310	17,60	1,86	$\Delta h = 0$ - погружение верха поршня относительно верха патрубка
28,5	346	18,60	1,97	

Таблица 3

Перепад системы (Z_c), мм	Отклонения стрелки прибора (φ), градусы	$\sqrt{\varphi}$	Расход по мернику (Q), л/сек	Показатель
0,92	15	3,90	0,15	3586 - отметка порога водослива Томпсона
1,5	29	5,38	0,22	
3,6	58	7,60	0,30	
5,75	96	9,80	0,38	$d_3 = 172$ мм - диаметр поршня
10,0	169	13,00	0,51	
10,8	186	13,60	0,54	$\Delta h = 0$ - погружение верха поршня относительно верха патрубка
14,8	231	15,20	0,61	
21,0	282	16,79	0,72	

Анализ графиков показывает, что зависимость расхода от угла в половинной степени или $Q = F(\sqrt{\varphi})$ прямолинейна, а поэтому коэффициент расхода водомера "K" для каждого кольцевого отверстия, соответствующего диаметру поршня, имеет свое практически постоянное значение.

Постоянное значение "K" сохраняется при изменении расхода от минимального до максимального в диапазоне 5-6. Это позволяет использовать приведенную формулу (1) при расчете шкал динамических расходоуказателей, которыми пользуются для измерения расходов воды, проходящей через бороздковый расходомер.

3. Значение коэффициента расхода водомера и порядок расчета расходной шкалы прибора

По данным весовой тарировки прибора ДРС и лабораторным исследованиям бороздкового расходомера с этим прибором

получены значения водомерного перепада давлений " Z_K " для каждого диаметра поршня и величины коэффициентов расхода " K ", которые сведены в табл. 4.

Таблица 4

Диаметр поршня (d), мм	Площадь поршня (ω_K), дм ²	Тариров. вес при $\varphi = 360^\circ$	Расход воды (Q), л/сек	Перепад давлений (Z_K), мм	Коэффициент расхода (K)	φ
$d_1 = 160$	2,01	515	2,58	25,60	0,815	12,10
$d_2 = 164$	2,11	"	1,99	24,4	0,820	12,70
$d_3 = 172$	2,32	"	0,75	22,2	0,833	13,95

Имея значения коэффициентов " K " для указанных диаметров поршней при постоянном диаметре патрубка и принятых размерах коробки расходомера, можно произвести расчет, а затем и разбивку расходной шкалы прибора по приведенной ниже форме:

$$\begin{array}{ccc} \frac{Q_i}{\text{л/сек}} & Z_i = \left[\frac{Q}{K \omega_K \sqrt{2g}} \right]^2 & \begin{array}{c} Z_i \\ \text{мм} \end{array} \end{array} \quad \begin{array}{c} \varphi_i = Z_i \varphi' \\ \text{градусы} \end{array}$$

Здесь Q_i - расход воды через определенный (принятый) интервал, например 0,1; 0,2; 0,3 л/сек и т.д.;

Z_i - перепад, соответствующий расходу;

φ_i - угол отклонения стрелки;

φ' - по паспорту прибора.

Величина φ' определяется по отношению

$$\varphi' = \frac{\varphi}{Z_K} \quad (2)$$

(приходится на 1 мм перепада давлений), где $\varphi = 360^\circ$ по шкале прибора.

Приборы, используемые в практических целях на бороздковых расходомерах, будут иметь свои характеристики, отличные от тех, которые взяты для опытов. Поэтому каждый прибор необходимо тарировать.

Методика тарировки и построения расходной шкалы состоит в следующем.

Поскольку рабочим элементом прибора является пружина, то предварительно проводят весовую тарировку, при которой определяется нагрузка на поршне (в граммах) при полном обороте стрелки 360° . Нагружая постепенно поршень, строят график $\varphi = F (P)$, по которому и находят вес (P), соответствующий углу поворота стрелки в 360° .

Затем определяют перепад давлений (Z_K), который может быть воспринят данным прибором. Для этого используют величины удельных давлений на типоразмеры поршней расходомера (P_0), полученные опытным путем.

Удельное давление на поршень одного размера представляет собой нагрузку, воспринимаемую прибором от перепада давлений равного одному миллиметру.

В опытах получены следующие значения удельных нагрузок: для поршня $d_1 = 160$ мм — $P_0 = 20,1$ г/мм; для $d_2 = 164$ мм — $P_0 = 20,8$ г/мм; $d_3 = 172$ мм — $P_0 = 23,2$ г/мм.

Значение перепада давлений, воспринимаемого прибором при угле поворота стрелки 360° , будет равно

$$Z_K = \frac{P}{P_0}, \text{ мм}$$

Имея перепад давлений, находят цену деления в градусах

φ' по зависимости (2), после чего приступают к разбивке

шкалы прибора (см. выше).

Значения ρ , ρ_0 , Z_K и φ' заносят в паспорт, составляемый по приведенной ниже форме:

Размеры поршня расходомера	Расход (Q), л/сек	ρ , (вес на-грузки при $\varphi = 360^\circ$)	ρ_0 , (нагрузка на поршень от 1 мм перепада давлений)	$Z_K = \frac{\rho}{\rho_0}$ перепад, мм	$\varphi' = \frac{360}{Z_K}$
----------------------------	-----------------------	---	--	---	------------------------------

$d_1 = 160$ мм до 3 л/сек				20,1	
$d_2 = 164$ мм до 2 л/сек				21,1	
$d_3 = 172$ мм до 1 л/сек				23,2	

Такой паспорт необходим для каждого бороздкового расходомера ввиду того, что приборы ДРС-60 имеют разные характеристики растяжения рабочей пружины.

4. Погрешность измерения расхода бороздковым расходомером

Отмечается некоторая погрешность в измерении расходов воды бороздковым расходомером. Эта погрешность определяется ошибками, возникающими при лабораторной проверке натурных образцов.

При лабораторных исследованиях изучаемого расходомера допущены следующие ошибки:

а) в определении напора над порогом водослива мерной иглой, что приводит к ошибке в расходе мерника —

$$\sigma_{Q(\Delta H)} = \pm 1,5\%;$$

б) в отсчете данных расхода по шкале прибора ДРС-60,

которая для любого значения расхода в принятом диапазоне не превышает $\sigma_Q = \pm 1,3\%$;

в) в коэффициенте расхода водомера она равна

$$\sigma_{Q(k)} = \pm 1,5\%.$$

При изготовлении патрубка и поршня расходомера принят допуск, не превышающий 0,05 мм, поэтому ошибка в расходе по рабочему отверстию по ее малости опускается.

Таким образом, средняя квадратичная относительная погрешность измерения расхода воды бороздковым расходомером определяется по формуле и составляет

$$\sigma_Q = \sqrt{\sigma_{Q(\Delta H)}^2 + \sigma_{Q(\text{приб})}^2 + \sigma_{Q(k)}^2} = \pm 2,44\%.$$

Вероятная относительная погрешность измерения расхода воды принимается равной

$$\delta_Q = \frac{2}{3} \sigma_Q = 1,63\%.$$

В лабораторных условиях была проверена работа натурального образца бороздкового расходомера с тремя типоразмерами поршней. Проверка показала надежную работу расходомера при чистой и мутной воде. Отклонения показаний расхода прибора в сравнении с расходами, определяемыми мерником, не превышали 1,3% на всем диапазоне измерения (табл. 5).

Таблица 5

Опытные данные проверки работы натурального расходомера с разными расходными шкалами

Верх- ний бьеф	Нижний бьеф	Перепад в ка- меру Z_c	Расходы по ДРС (двух- кратный отсчет)		По мер- нику Q л/сек	Откло- нение показа- ния прибора	Диам- метр пор- шня, мм
			Q_1 л/сек	Q_2 л/сек			
200	194	6	0,98	0,98	0,93	0	$d_1 = 160$
205	198	7	1,23	1,23	1,24	-0,01	
208	199	9	1,30	1,30	1,30	0	
212	201	11	1,50	1,50	1,50	0	
216	202	14	1,645	1,645	1,65	-0,005	$d_2 = 164$
220	203	17	1,78	1,78	1,79	-0,01	
222	204	18	1,845	1,845	1,85	-0,005	
228	202	26	2,26	2,26	2,25	+0,01	
222	201	21	2,08	2,08	2,07	+0,01	$d_3 = 172$
233	203	30	2,46	2,46	2,45	+0,01	
242	205	37	2,67	2,67	2,65	+0,02	
190	186	4	0,485	0,485	0,48	+0,005	
191	185	6	0,775	0,775	0,78	-0,005	$d_4 = 172$
203	197	6	1,11	1,11	1,11	0	
207	193	14	1,26	1,26	1,26	0	
213	198	15	1,425	1,425	1,425	+0,005	
218	199	19	1,50	1,50	1,50	0	$d_5 = 172$
220	200	20	1,56	1,56	1,56	0	
223	200	23	1,725	1,725	1,73	-0,005	
233	203	30	2,02	2,02	2,01	+0,01	
233	203	30	2,03	2,03	2,03	0	$d_6 = 172$
186	176	10	0,22	0,22	0,223	-0,003	
193	181	12	0,34	0,34	0,35	-0,01	
198	185	13	0,40	0,40	0,40	0	
195	180	15	0,39	0,39	0,41	0,02	
199	180	19	0,47	0,47	0,47	0	$d_7 = 172$
200	181	19	0,49	0,49	0,495	-0,005	
202	182	20	0,53	0,53	0,53	0	
203	182	21	0,55	0,55	0,55	0	
209	184	25	0,628	0,628	0,63	-0,002	$d_8 = 172$
247	217	30	0,75	0,75	0,76	-0,01	

Включение расходомера в работу и его эксплуатация

Коробку расходомера устанавливают в "голове" или в заданном сечении по длине борозды в углублении, чтобы вода свободно входила в первый отсек. Верх коробки нужно расположить горизонтально.

Динамический расходоуказатель (ДРС-60) прикрепляют винтом к кронштейну коробки так, чтобы поршень находился в центре патрубка.

Верх поршня должен быть в одной плоскости с верхом патрубка.

После установки расходомер приводят в рабочее положение до пропуска измеряемого расхода воды по борозде. Для этого коробку заливают водой до дна борозды, а стрелку прибора поворотом регулировочного винта совмещают с нулем шкалы циферблата. При этом весь поршень необходимо погрузить в воду.

В случае, если на месте установки расходомера воды нет, поступают следующим образом. Расходомер перед отправкой на поле ставят на горизонтальную плоскость, заливают коробку водой и приводят стрелку прибора к нулю по шкале расхода. Затем воду из коробки выливают и отмечают новое положение стрелки на циферблате. По этой отметке положения стрелки устанавливают расходомер на борозде без заполнения водой.

Если прибор ДРС-60 используют с самописцем, то установив стрелку согласно вышеуказанному, совмещают острие пера самописца с нулевой линией расхода на ленте барабана.

При этом барабан перемещают вертикально с помощью винта, помещенного под основанием самописца.

Часовой механизм барабана самописца заводят за 20-30 мин. до пропуска воды через расходомер.

На ленту самозаписывающего устройства специальным валиком наносится расходная сетка в виде параллельных линий. Каждая линия соответствует определенному расходу или углу отклонения стрелки.

Ход пера самописца по барабану с лентой составляет 75 мм, при этом стрелка прибора поворачивается на угол $\varphi = 360^\circ$. Поэтому перемещение пера на 1 мм приводит к повороту стрелки на угол $\Delta\varphi = 4,8^\circ$.

Зная цену деления расходной шкалы в градусах (табл.4), можно подобрать 15 значений расходов и, установив кольца на валике, по этим расходам и соответствующим углам, нанести сетку на ленте.

Ширина ленты составляет 90 мм и длина 2500 мм из расчета 300 мм ленты на сутки.

Нормальная работа расходомера обеспечивается при отсутствии мусора в зазоре между стенками патрубка и поршня. Поэтому ведут наблюдение за состоянием первого отсека и особенно тщательное при поршне № 3 (малой ширины зазора).

В начальный момент работы расходомера в первый отсек с водой может поступить плавающий мусор (листья, трава и т.д.), который должен быть удален. Засорение кольце-

вого отверстия в патрубке устраняется кратковременным поднятием поршня над патрубком.

Наличие взвешенных наносов в воде не отражается на работе расходомера.

Наносы проходят через патрубок с поршнем, и очень незначительное количество их осаждается на дне коробки, не влияя на пропускную способность расходомера.

Показания прибора ДРС-60 наблюдатель периодически записывает в журнал. При работе прибора с самозаписывающим устройством расход записывается на ленту автоматически.

Ошибка в измерении расхода бороздковым расходомером не превышает 2%.

Точность измерения повышается при специальной тарировке расходомера.

После окончания полива или измерения расхода прибор ДРС-60 снимается с кронштейна и коробка расходомера вынимается из грунта. Коробку расходомера и прибор, приведенный в транспортное положение, отдельно переносят на новое место работы.

В ы в о д ы

Предложенный расходомер выгодно отличается от измерителей расхода на борозде, которые применяются в настоящее время при исследованиях техники полива.

Незначительные перепады давлений обеспечивают равномерное увлажнение по всей длине борозды, а запись расхода на ленту исключает ошибки в измерениях, проводимых наблюдателями:

Автоматизированный учет расхода предлагаемым прибором обеспечивает более высокую точность измерения по сравнению с водосливами.

М. САЛИХОВ

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ ОБЪЕМЕ ТЕЛЕИНФОРМАЦИИ,
ПОЛУЧАЕМОЙ ОТ ИСПОЛНИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ НА
ТЕЛЕУПРАВЛЯЕМЫХ ИРРИГАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

Перевод гидроузла на автоматическую работу с диспетчерским контролем позволяет поддерживать оптимальный водный режим канала и получить своевременную сигнализацию об отклонениях от нормальных параметров и неисправностях, т.е. повысить надежность работы сооружения.

В настоящее время накоплен некоторый опыт по автоматизации головного сооружения Терско-Кумского канала, телемеханизации на Катта-Курганском водохранилище и ряде других каналов.

Телемеханика и автоматическое управление прошли длительную производственную проверку на канале Джун.

Проектные проработки по автоматизации и эксплуатация имеющихся гидроузлов помогли освоить и организовать выпуск механизмов и аппаратуры, специально предназначенных для ирригации. Однако запроектированные технические средства теоретически не были достаточно подготовлены, не рассчитаны на сложные условия работы сооружений; всю систему телеизмерения и телеуправления приспособляли к существующей исполнительной аппаратуре, не предъявляя к ней достаточных требований и не учитывая возможности местной автоматики. В результате выбирались принципы автоматизации, которые, как показал опыт действующих автоматизированных гидроузлов, не отвечали всем требованиям эксплуатации.

Эксплуатация существующих телемеханизированных каналов показала, что в некоторых случаях излишняя телеметрическая информация по количеству рассматриваемых параметров и точности измерения приводит к усложнению телемеханической системы. В других случаях наблюдается обратная картина - объем телеинформации слишком мал, и это затрудняет централизованное управление объектами.

Успешное решение вопроса комплексной автоматизации оросительных систем зависит от объема информации, получаемой от исполнительной аппаратуры.

Цель настоящей работы - определение минимального количества передаваемой телеинформации, достаточной для определения расхода, горизонта воды и их регулирования ДП, согласно плану водопользования. При этом учитывалась возможность возложения некоторых функций, выполняемых ранее диспетчером, на аппаратуру местной автоматики, при условии, что последняя будет обладать достаточной точностью и надежностью. Кроме того, рассматривалась возможность замены некоторых сигналов телеизмерения сигналами состояния объекта или предупредительной сигнализацией.

Все это в значительной мере разгрузит канал связи, облегчит работу диспетчера и сократит элементы субъективизма при управлении каналом.

Опыт эксплуатации показал, что без наличия надлежащих средств учета воды и контроля различных параметров немислива автоматизация и телемеханизация водохозяйственных объектов.

Для осуществления телеуправления сооружением и установ-

ления режима работы с нужной точностью необходимо, чтобы:

- а) общая погрешность учета воды не превышала 6%;
- б) конструкции сооружений были надежными, защищены от повреждений и могли управляться ДП ;
- в) диспетчер знал о любом отклонении от заданного режима.

Этого можно достичь рациональным использованием имеющейся аппаратуры в системах.

Для полного определения объемов телеинформации, получаемых с исполнительной аппаратуры составлена таблица, где приведена классификация сооружений с необходимым объемом телеинформации и операций для телемеханизации ирригационной системы.

Т е л е и з м е р е н и е . Из таблицы видно, что только в террированных сооружениях для телеизмерения имеется несколько переменных, без которых нельзя вести учета воды. В сооружениях с водомерами, авторегуляторами и др. телеизмерение одного параметра достаточно при условии, что в ДП будут поступать два сигнала.

Например, на любом сооружении можно свести учет воды к замеру одного параметра (русловым методом или при помощи водомерных устройств). Следовательно, для учета воды необходимо лишь одно телеизмерение.

Т е л е с и г н а л и з а ц и я . Первый сигнал аварии указывает на место его происхождения и в какой-то степени на род аварии. Этот сигнал включает в себя

аварийный горизонт (предупреждение о поднятии уровня в верхнем бьефе выше возможного максимального), где, например, полностью прекращена подача электроэнергии.

Объект полностью отказался от работы, сработала местная защитная аппаратура и пр.

Аварийный сигнал должен привлечь внимание диспетчера звуковым и световым сигналом. Когда на каком-либо сооружении возникнет состояние, требующее непосредственного вмешательства дежурного, нет необходимости в указании рода аварии, так как это усложнит систему телемеханики, а необходимость послышки дежурного на место аварии останется.

Указание же места аварии сократит сроки обнаружения и устранения возможных неисправностей.

Наличие второго сигнала позволяет избавиться от второго телеизмерения на ИП. Этот сигнал в момент управления будет указывать на состояние объекта управления (работает - стоит).

В случае управления затвором ДП диспетчер удостоверится по этому сигналу в том, что его команда по телеуправлению выполняется. Нет необходимости при этом измерять положение затвора, так как эта величина не нужна для учета воды, который осуществляется по датчику телеизмерения горизонта или расхода.

Этот же сигнал может быть использован в качестве предупредительного, когда горизонт или расход, поддерживаемый регулятором, отклоняется от заданной величины, не являясь при этом аварийным (сигнал-регулятор не справляется

с заданием). Такой предупредительный сигнал поступает на ДП без предварительного вызова.

Особую трудность представляет телеуправление на многопролетных сооружениях, так как каждый затвор является самостоятельным объектом. Для решения этого вопроса необходимо широко использовать местную автоматику, что облегчается тем, что многопролетные сооружения, как правило, находятся в больших гидроузлах, где имеется электрическая энергия. В этом случае нет необходимости в индивидуальном телеуправлении ДП каждым пролетом: надо возложить эту обязанность на местную автоматику, давая ей с ДП задания или программу, согласно плану водопользования.

Во избежание размыва нижнего бьефа и для правильного формирования русла на протяжении длительного периода работы сооружения необходимы порядок и очередность в маневрировании затворами. На существующих сооружениях, согласно опыту эксплуатации, время от времени изменяют порядок управления затворами, что можно обеспечить, используя гибкую электрическую схему местной автоматики. В проектируемых и строящихся гидроузлах рациональная схема эксплуатации и программа управления затворами устанавливаются модельными исследованиями. В дальнейшем управлять затворами будут автоматы. При переводе сооружения на автоматическое управление АРР (авторегулятор расхода) и АРГ (авторегулятор горизонта) диспетчер наблюдает только за установкой регулятора и расходом или горизонтом воды и при необходимости управляет уставкой регулятора, чем может изменить расход воды, пропускаемой через сооружение. Непосредственное

телеуправление затворами и измерение их положения диспетчер не производит, поэтому с точки зрения телемеханики, все крупные сооружения могут быть подключены через два ИП: для управления и контроля регулятора и для учета воды. В многоролетных сооружениях можно к авторегулятору приспособить указанную выше схему простейшего программного управления затворами. Это применяется в настоящее время на головном сооружении канала Джун. Саларский сброс канала Джун автоматически управляется тремя сдвоенными затворами, которые включаются поочередно.

Для рационального управления вододелением на оросительных каналах удобны гидравлические автоматы, не требующие источников электрической энергии. Однако из-за больших капитальных затрат на переоборудование сооружений использовать их целесообразно на вновь строящихся системах. При совмещении этих автоматов, как указано в таблице, с диспетчерским управлением уставкой и измерением ее, они найдут широкое применение.

Из сказанного выше вытекает, что проектируемые устройства телемеханики для ирригационных систем могут быть упрощены. На каждом ИП должны выполняться следующие функции:

- 1) одно измерение (горизонт, расход или уставка регулятора) ;
- 2) одно телеуправление трехпозиционным объектом ;
- 3) два сигнала (аварийный и состояния).

При наличии надежной аппаратуры местной автоматики, многоролетные сооружения могут управляться через два ИП. Это разгрузит как диспетчера, так и канал связи, тем самым увеличится число сооружений, управляемых с одного ДП.

Таблица

Необходимый объем получаемых информации с объектов

Наименование и наличие водомерных и управляемых устройств сооружений.
Сбросы, перегораживающие и водопускные сооружения

		С водо- мерными устрой- ствами	Тарированные		Учет по русло- вому мето- ду	С водо- мерной прис- тавкой	С авторегулятором			С гид. автоматом			Показатель
			се сво- бодным истече- нием	с за- топлен- ным ис- течением			АРР	АРГ	АРГ	Н _В	Q	Н _Н	
							A _Р	A _Г	A _Н				
Теле- изме- рение	Расход, Q	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Верхний бьеф, Н _В	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Нижний бьеф, Н _Н	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	
	Открытие затвора "а"	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	В многопролетных сооружениях увеличивается по количеству пролета
	Уставка АРГ	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	
	Уставка АРР	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	
	Уставка гид.автомата	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	
Уп- рав- ле- ние	Перепад	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	
	Телуправление	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	
	Управление уставкой авторегулятора	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	
Сиг- нали- зация	Управление уставкой гид.автомата									+	+	+	
	Сигнал аварий	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	Сигнализация предусматри- вается только при теле-или ав- томатическом управлении; защита, предусматриваемая местной схемой управления электроприводом, не вклю- чается.
	Сигнал состояния объекта (предупредительный)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	

ПРИМЕЧАНИЕ : Плюс показывает, что на данном объекте имеется измерение,
управление или сигнализация; минус - нет никаких
управлений и измерений.

х - указанные плюсы возможны при условии, что уставки
гидравлических автоматов имеют телеуправление

К.А. АВЛЯНОВА

ИТОГИ МОСКОВСКОГО СЕМИНАРА ПО АВТОМАТИЗАЦИИ
И ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИИ ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ
И ЗАДАЧИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И УЧЕБНЫХ
ИНСТИТУТОВ ^{*)}

(Информационное сообщение)

За последние годы в Советском Союзе инженерно-техническая мысль усиленно работает над вопросами улучшения организации технической эксплуатации и оснащения гидромелиоративных систем более совершенными средствами забора, регулирования и учета оросительной воды.

Первая научно-техническая конференция в указанном направлении, созданная по инициативе ИАТ СССР и АН УзССР, состоялась в 1953 г. в г. Ташкенте.

На этой конференции с докладами выступили ряд конструкторов, разработавших затворы и приборы для регулирования и учета оросительной воды: М.А. Гаврилов (ИАТ СССР), Д.П. Колоскевич (САНИИРИ), Э.Э. Пеплов (Средазгипроводхоз), К.С. Глубышев и П.М. Розаренов (Росгипроводхоз) и др. специалисты. Это были только первые шаги. Конференция показала, что еще рано говорить о широком внедрении каких-либо средств учета и регулирования, что необходимо изучать особенности объектов гидромелиоративных систем, на которых целесообразно

^{*)}

Текст доклада, сделанного на профессорско-преподавательской конференции ТИИИМСХ 27 октября 1967 г. канд. техн. наук ст.н.с. К.А. Авляновой.

внедрять средства автоматизации и телемеханизации, а также усилить разработку средств автоматики - приборов, регуляторов и телемеханических устройств.

Уже тогда указанное направление вырисовывалось, как новое в гидротехнической науке. Поднимали эти вопросы в основном гидрометры и телемеханики, искавшие область применения средствам автоматики и телемеханики.

Со дня созыва конференции прошло 15 лет. За этот период в Союзном масштабе сделана колоссальная работа.

Расширился круг изучаемых и исследуемых вопросов конструированием средств и изучением вопросов автоматического забора, регулирования и учета оросительной воды.

В настоящее время этим в той или иной степени занимаются во всех республиках орошаемой зоны Советского Союза и в эту работу вовлекаются все больше и больше специалистов.

Большой вклад в эту науку сделали академик ВАСХНИЛ И.А.Шаров, и член кор. ВАСХНИЛ Н.А.Янишевский, к.т.н. Колод-кевич Д.П., Ярцев В.И. В этом направлении защитил докторскую диссертацию Я.В.Бочкарев, кандидатские : М.В.Бутырин, К.А.Авлянова, И.Б.Хамадов, М.З.Ганкин, Э.Э.Маковский, Г.М.Беленький, В.Н.Ус, В.Е.Краснов, М.П.Сальников, Накануне защиты А.А.Гартунг, В.Е.Старковская, Б.Т.Тишабаев, М.С.Салихов.

Большой вклад в эту науку внесли проектировщики и производственники: Д.И.Афонин, Л.М.Ярошецкий, В.Э.Керро, В.М.Авдеев, Р.А.Мансуров, Э.Э.Пеплов, В.А.Андреев, Р.М.Тюменен, М.В.Финке и др.

Все заслушанные на семинаре доклады можно разбить ^{на} следующие группы (темы):

1. Общие вопросы; 2. Автоматизация полива; 3. Опыт внедрения; 4. Опыт проектирования; 5. Теоретические вопросы авторегулирования и 6. Средства измерения, регулирования и управления.

Подавляющее большинство докладов было представлено Ташкентскими (УзССР) организациями - 18, Московскими - 10, Фрунзенскими (КиргССР) - 13, Украинскими - 10, Российской Федерацией - 6 и прочими - 9. Со стороны Грузинской ССР, обычно активно участвующей на таких совещаниях, на этот раз был сделан только один доклад.

На семинаре рекламировались и демонстрировались разработанные средства автоматики и телемеханики (табл. I). Семинар показал, насколько многочисленны и многогранны вопросы, связанные с разработкой и внедрением средств автоматики и телемеханики на гидромелиоративных системах; как много еще предстоит сделать и изучить. С другой стороны, семинар показал довольно большой рост кадров, высокий уровень докладов как теоретических, так и по разработке средств. В принятой на семинаре резолюции были отмечены недостатки внедрения, в основном из-за недостатка специалистов и даны пожелания усилить подготовку кадров, специализированных по автоматике и телемеханике из среды гидромелиораторов.

В апреле 1967 г. отделом науки Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР был организован Всесоюзный семинар по внедрению средств автоматики и телемеханики на гидромелиоративных системах, где были заслушаны доклады и сообщения научно-исследовательских, проектных и производственных организаций Советского Союза, разрабатывающих вопросы, а также выпускающих средства автоматики, телемеханики. На семинаре приняли участие более 300 инженерно-технических научных работников - представителей более 20 организаций.

На пленарном заседании было заслушано 19 докладов; на секции "Проектирования конструирования и внедрения средств электрической автоматики и телемеханики на оросительных системах" - 21 доклад; на секции "Расчет и проектирование систем и средств гидравлической автоматики" - 15; на секции "Каскадное регулирование расходов воды на ирригационных системах" - 11. Всего 66 докладов и сообщений.

Вступительное слово на пленарном заседании произнес зам.министра ММВХ СССР тов. К.К.Шубладзе. Он остановился на перспективах развития ирригации в СССР и на решениях Пленума ЦК КПСС по вопросам мелиорации.

Довольно обстоятельное сообщение сделал зам. нач.Управления науки и техники Г.А.Баркан о результатах внедрения средств автоматики и телемеханики на опытно-экспериментальных объектах, Д.И.Афонин (ММВХ УзССР) и директор завода ирригационного приборостроения.

ХАРАКТЕРИСТИКА СЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ ВОДОМЕРНЫХ И ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ, РАЗРАБОТАННЫХ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ

№ пп	Название	Назначение	Основные технические данные	Где внедряются	Где разработано	Где изготовлено
1	2	3	4	5	6	7
1.	Вакуум-водомер типа ВВВС	Измерение расходов воды на дождевальных и насосных агрегатах	Точность $\pm 2, \pm 6 \%$ Чувствительность 4-120 см. в.ст.	В Кучерганском с-зе Астраханской обл. (с 1964), на Астраханской опытной ст. (с 1965), в Ажинов. с-зе Ростов. обл. (с 1966 г.)	ЮНИИГим г. Новочеркасск, ул. Фрунзе, дом № 58.	ЮНИИГим, Опытные механические мастерские
2.	Расходомер	Измерение расхода воды на открытых водосливах оросительных систем	Точность $\pm 3, \pm 5 \%$ Чувствит. 0-1 мм в.ст.	Исследован в лаборат. условиях	-----	-----
3.	Водомер типа ДС-64	Измерение расхода воды на гидротехнических сооружениях оросит. каналов	Измеряет "З" в пределах 0-40 см	На Азовской оросительной системе	-----	-----
4.	Датчик перепада уровней типа ДЛУ	Измерение расхода воды на водомерных сооружениях	Привязывается к телеизмерительной системе ТРДС СКБ и хранилище (с 1965) "Газприборавтоматика" Пределы измерения 0-25; 0-50; 0-75 см; погрешность $\pm 1,5 \%$	На Каттакурганском водохранилище (с 1965)	СКБ "Газприборавтоматика" Москва Г-314, Девятинский пер. 12-а и Средазгипровод хлопок, Ташкент, ул. Навои, дом 44	СКБ "Газприборавтоматика"
5.	Устройство типа "Ташкент"	Измерение и регулирование расходов воды на оросительных каналах	Устройство автоматически поддерживает заданный расход путем подачи серии электрических сигналов на электропривод затворов и дистанционного измерения величины уставки; авторег. осуществляет телеизмерение расхода и уставки регулятора в одной из трех систем телеизмерения: частотной, кодовой или время-импульсной (по заказу). Пределы измерения "З" 0-25, 0-75 см; погрешность $\pm 2,5 \%$	Исследован в лабораторных условиях	СКБ "Газприборавтоматика" и Средазгипровод хлопок	-----
6.	Датчик положения затворов типа ДЛЗ	Измерение положения затвора и сигнализация его крайних положений	Привязывается к комплексному устройству телемеханики ТРДС СКБ "Газприборавтоматика" Открытие затвора 0-125, 0-250, 0-500 см; Погрешность ± 1 см (по указанию м. отсчета)	На Каттакурганском водохранилище (с 1965 г.)	-----	-----
7.	Станция управления затворов гидротехнических сооружений серии ШАП	Измерение "З" на водомерных сооружениях	Управление (местное, автоматическое и телемеханическое) и защита электроприводов гидротехн. сооружений. Мощность электропривода 1-20 квт. Питание от сети 380/220 в. Привязан к телемеханическому устройству ТЧР-61	На Самур-Апшеронском канале в АЗССР	ВНИИ Электропривод (Москва п/я 3711) и Гипроводхоз (М. Басманный туп. 6а)	Лужский электроаппаратный завод

1	2	3	4	5	6	7
8.	Комплексное телеизмерительное устройство "Телерейка"	Телемеханизация распределенных объектов	Радиус действия до 80 км, число объектов, подключаемых к одному фидеру - 48, фидеров 10, принцип телеизмерения кодовый, точность - 0,4 %	На оросительных системах Средней Азии эксплуатируется 7 комплектов	Узбекский научно-исследовательский институт энергетики и автоматики МЭ и электрификации СССР	Завод ирригационного приборостроения Узглавводстрой
9.	Частотная система телемеханики типа ТРЧ-61	Комплексная телемеханизация распределенных объектов линейно-узлового размещения	Емкость до 56 объектов, циклическое измерение 51 объекта, информации с каждого объекта 2 ТУ; 1 ТС и 1 ТЧ; погрешность $\pm 2,5$ %	На Чевинномысском канале в Ставропольском крае, на канале ТМ-1 в Таджикской части Голодной степи	Гидропроводхоз, ИАТ СССР и СКБ завода телемеханической аппаратуры	Завод телемеханической аппаратуры г.Нальчик КБ АССР ул.Кабардинская 162
10.	Трубочатый водомер регулятор с боковым цилиндром типа ТВР б/ц	Преобразование трубочатого сооружения в водомерное	Точность до 5% пропускная способность 0,6 м ³ /сек $\Sigma = 10-60$	На канале Джун.Ташк.Обл.уос Опытный образец	САНИИРИ	В мастерских САНИИРИ
11.	Водовыпуск с наклонными козырьками	Преобразование открытого сооружения в водомерное	На расходы 200; 400; 800; 1400 Н=14.47 см. Допустимые колебания в/бьефа 18-70 см.	В голодной степи и Сурхандарьинской области с 1967 года	САНИИРИ	" "
12.	Пружинистый автомат с вращающимся щитком	Для поддержания заданного расхода	На расходы 70; 200; 400 л/с Допустимые колебания горизонтов верхнего бьефа 5-30	На внутрихозяйственных каналах Калининского РВХ Ташкентской области	САНИИРИ	" "

УДК 626.8

Некоторые общие задачи исследований
и области применения гидравлических
и электрических систем авторегулиро-
вания в ирригационных каналах
Хаматов И.Б., Судаков В.П. "Труды
САНИИРИ", вып. II5, 1967г.

Известен ряд принципов, на основании которых предлагаются различные системы гидравлического и электрического авторегулирования на ирригационных каналах, управляемых по нижнему бьефу, смешанному типу, способу сообщающихся уровней и т.д.

К исследованию и разработке этих вопросов приступили такие институты, как Средазгипроводхлопок, САНИИРИ им.

В.Д.Журина, Институт автоматики АН КиргССР. За рубежом известно применение некоторых типов систем гидравлического авторегулирования.

Для доведения системы авторегулирования до стадии рабочего проектирования необходим комплекс научно-исследовательских работ.

САНИИРИ и Средазгипроводхлопок проводят совместную работу. На базе НИО Средазгипроводхлопка начато строительство двух каналов длиной по 550 м на расходы по $1 \text{ м}^3/\text{сек.}$ воды с гидравлическим и электрическим авторегулированием и стенда испытания средств автоматики в равноценных условиях.

Задачи исследований:

- а) определение условий для получения автоматического соответствия между расходами водоподачи головного сооружения и потреблением ее в выпусках канала (на основе "прямых" и "обратных" гидравлических связей и т.д.);
- б) выбор рациональных средств автоматики, отвечающих

эксплуатационным, конструктивно - строительным и технико-экономическим требованиям;

в) выяснение режима неустановившегося движения при переходе системы с одного установившегося режима на другой и расчет резервных объемов воды бьефов.

Даются понятия о волнах подпора, отлива, излива, наполнения (положительных, отрицательных, прямых, обратных), а также явлениях их "наложений", "отражений" и др.

Приводятся функциональные зависимости для расчетов в общем виде равномерно и неравномерно установившихся, а также неустановившихся движений потока.

Показывается неоднозначность функции между горизонтами воды и его расходами во времени при неустановившемся движении, а также математическая классификация волн по С.А.Христиановичу.

Скорость распространения волны по бьефам канала (прямой и обратной, при малых наполнениях) требует введения в уравнении Сен-Венана (при $i_{\text{дна}} = 0$) для второго члена коэффициентов M и M_1 , меняющихся в реальных потоках от 0 до 1.

Доказывается, что обратная гидравлическая связь между бьефами возможна при малых уклонах их дна (меньше критических). При уклонах больше или равных практически отсутствующая гидравлическая связь должна быть заменена электрической. Таким образом, областью применения гидравлических систем авторегулирования являются каналы с уклонами дна бьефов меньше критических; электрических систем -

с уклонами равными или больше критических.

В конце приводятся экономические сопоставления различных систем авторегулирования.

УДК 626.8

Принципиальная схема и режимы работы каналов с системами гидравлического авторегулирования по нижнему бьефу, Хаматов И.Б., Ом Л.А., Плутно Б.С.
"Труды САНИИРИ", вып. 115, 1967г.

Излагаются следующие вопросы:

- 1) принципиальная схема систем (характерные особенности, наличие и размещение сооружений с оборудованием);
- 2) режимы работы как системы, так и средств автоматики;
- 3) комплекс специфичных расчетов таких систем;
- 4) водомерности сооружений канала;
- 5) осуществление автоматического соответствия между расходами подачи и потребления воды по плану водопользования.

Рассматриваемая система имеет п р е и м у щ е с т в а :

- а) полное автоматическое водораспределение. Функции обслуживающего персонала ограничиваются изменением уставок расхода потребления и простым наблюдением за работой системы;
- б) точное и немедленное обеспечение выпусков изменными расходами воды (благодаря прямым и обратным гидравлическим связям между бьефами);
- в) расходы в системы (при нормальных условиях ее работы) распределяются без сбросов, дефицит в воде не отмечается;

г) вода распределяется не просто "по потребности", но и с осуществлением плана водопользования (благодаря ограничителям подъема затворов);

д) независимость водопотребления от последовательности включения или закрытия выпусков ("сверху вниз" или "снизу вверх").

Недостатки рассматриваемых систем:

а) изменение резервных объемов воды в бьефах не соответствует расходу потребления, а подпорно-переменные условия работы потока могут создать неблагоприятный наносный режим;

б) одновременное обеспечение выпусков измененными расходами происходит только за счет сосредоточенных резервных объемов воды;

в) автоматическое и безразрывное соответствие между потреблением и подачей воды в выпусках при одновременном изменении потребления существует только при определенных допустимых расходах;

г) следствие вышеперечисленных недостатков является следующее:

1) возникновение подпорно-переменного режима в каналах, что приводит к опасности оседания наносов; 2) появляется необходимость в большой строительной высоте дамб канала, в наличии в каждом бьефе автоматического сброса, а иногда и параллельного канала для сбросных вод — все это увеличивает их стоимость; 3) потребность в особой надежности автоматов нижнего бьефа;

д) каждый бьеф для наличия обратной гидравлической

связи и уменьшения объемов земляных работ допускает незначительные уклоны дна;

е) при недостаточной водообеспеченности в наилучших условиях находятся нижерасположенные по каналу выпуски.

Надбавка в стоимости системы - не более 6-7% по отношению к таким же каналам, упряляемым по верхнему бьефу. При телеизмерении и теледесигнализации систем надбавка составляет 22%, а при телеуправлении - 29.

УДК 626.8

Принципиальная схема и режимы работы каналов с системами регулирования по верхнему бьефу, Хамадов И.Б., Ом Л.А.

"Труды САНИИРИ" вып. II5, 1967.

Каналы с системами регулирования по верхнему бьефу не имеют "обратной гидравлической связи" между бьефами (для автоматического соответствия между расходами потребления воды в выпусках и водоподачей перегораживающих и головного сооружений канала) и не отличаются от обычных, за исключением того, что их сооружения оснащаются средствами автоматики.

Совместная работа по обобщению рассматриваемого вопроса проведена САНИИРИ им. В.Д. Журина и Средазгипроводхлопком.

Методика исследования заключалась в критической оценке вопроса по существующей отечественной и зарубежной литературе, проектным проработкам, осуществленным проектам, наблюдениям за работой оросительных систем и ряду расчетов.

Кратко излагается следующее:

- а) определение и принципиальная схема системы (наличие и размещение сооружений с необходимым оборудованием);
- б) режимы работы как системы (при нормальной, избыточной и недостаточной водоподаче), так и средств гидравлической автоматики (в нормальных и аварийных их состояниях работы);
- в) комплекс специфичных гидравлических расчетов таких систем;
- г) водомерность таких сооружений;

д) возможности осуществления автоматического соответствия между водопотреблением и водоподачей.

Преимущества таких систем (при оснащении сооружений средствами автоматики):

а) простота в эксплуатации и уменьшение операций регулирования;

б) высокая относительная точность и надежность регулирования расходов воды (по "намечаемым расходам") в соответствии с планом водопользования;

в) сравнительно малые потери воды на сброс по каналу, особенно при установившемся режиме работы системы;

г) наличие на автоматах расхода (выпусках канала) ограничителей подъема затворов позволяет забор воды, не выше положенного.

К недостаткам таких систем можно отнести:

а) отсутствие "обратных гидравлических связей" между бьежами, которое восполняется малооперативным способом — наличием обслуживающего персонала;

б) потери и дефицит расходов воды по каналу могут быть значительными при перерегулировании системы и не исключены даже в установившемся режиме работы канала;

в) в лучших условиях по водообеспеченности находятся выпуски, расположенные выше по каналу.

Системы в эксплуатационных условиях по "намечанным расходам" лучше регулировать "сверху вниз" по каналу, чем "снизу вверх".

Для автоматического соответствия расходов потребления воды выпусками и водоподачей головного сооружения канала

необходимо отсутствующую обратную "гидравлическую связь" восполнить "обратной электрической" или другими связями между бьефами.

Стоимость оснащенных средствами автоматики каналов, управляемых по верхнему бьефу, увеличивается на 3-3,5% по сравнению с обычными (в равноценных условиях).

Принципиальная схема и режимы работы каналов с системами смешанного авторегулирования,

Хамадов И.Б., Ом Л.М.

"Труды САНИИРИ", вып. II5, 1967

Система с совмещенными функциями авторегулирования, которая в нормальных условиях ничем не отличается и работает как автоматическая, управляемая с нижнего бьефа, и которая в аварийных случаях — избытке или спаде расходов — переходит на регулирование по верхнему бьефу, поддерживая горизонты воды в верхнем бьефе в заданных постоянных пределах максимума, или минимума, называется управляемой способом смешанного авторегулирования.

В случае избыточной водоподачи и достижения водой максимального горизонта верхнего бьефа, расход сбрасывается из бьефа в бьеф до конечного сбросного сооружения; недостаточной — предотвращается полное опорожнение бьефов и вода между бьефами распределяется более равномерно. Дополнительные функции такой системы делают ее более надежной.

Аварийные режимы автоматы смешанного регулирования (в открытом или закрытом "заклинненном" положении) аналогичны таковым в системе авторегулирования по нижнему бьефу. Эксплуатационным условиями и требованиями закрытое "заклинненное" положение автомата смешанного типа должно быть исключено.

Водомерным должны быть сооружения: головное, водо-

выпуски, концевые сбросы и в ответственных случаях переполняющиеся.

Система смешанного авторегулирования по сравнению с системой, управляемой по нижнему бьефу, имеет п р е и м у щ е с т в а :

а) более удобна и надежна в эксплуатации, ибо при аварийном режиме — избыточной подаче расходов воды в бьефы канала предотвращается их переполнение. Не требуются автоматические сбросы из каждого бьефа;

б) при недостаточной водообеспеченности ее происходит равномерное распределение воды между бьефами и предотвращается как полное опорожнение бьефов и обнажение выпусков, так и ряд нежелательных явлений, возникающих в канале (противодавление фильтрационных вод на откос и т.д.).

Системе свойственны и н е д о с т а т к и :

а) стоимость ее по сравнению с системой, регулируемой по верхнему и в ряде случаев по нижнему бьефу, увеличивается;

б) она уступает системе регулирования по способу сообщающихся уровней в использовании резервных объемов воды бьефов, т.е. имеет "сосредоточенные", а не "рассредоточенные" резервные объемы бьефов.

Надбавка в стоимости системы смешанного гидравлического регулирования (как из французской практики, так и по перепробовкам института "Средазгипроводхлопок") по отношению к таким же каналам, управляемым с верхнего бьефа, составляет 9 — 22 %. При телеизмерении и телесигнализации

надбавка равна 28%, а при телеуправлении - 35,5 %

УДК 631.347.1 : 628.12-55

Расчет поплавкового регулятора уровня для водовыпусков закрытой оросительной сети,
Сальников М.П.

"Труды САНИИРИ", вып. II5, 1967

Разработан новый поплавковый регулятор уровня для водовыпусков закрытой оросительной сети. Уровень воды в приемном колодце такого водовыпуска остается постоянным при изменениях действующего напора в трубопроводе, а также величины забираемого расхода. Это позволяет благоприятно сочетать прерывистый процесс полива и непрерывный транспортирования оросительной воды.

Отличительная особенность регулятора: для управления основным потоком воды в нем используется небольшой управляющий поток, на пути которого размещен клапан, связанный с поплавком. Использование "управляющего" потока позволило осуществить стабилизацию уровня воды в колодце с высокой точностью при помощи небольшого поплавка.

В статье приведен расчет регулятора, который позволяет выбрать его размер в соответствии с заданной пропускной способностью при допустимой погрешности стабилизации уровня. (Работа выполнена в лаборатории эксплуатационной гидрометрии САНИИРИ).

Рис. 3.

В прилагаемой статье приводится принцип действия, возможные варианты автомата постоянного расхода, результаты лабораторных исследований его и методика расчета.

Автомат состоит из плоского вертикального затвора, вращающегося щитка с осью в нижней части затвора, троса, пружины с болтом и кронштейна, прикрепленного в верхней части затвора.

Действие автомата заключается в том, что с изменением перепада системы Z_c (или напора H) щиток соответственно уменьшает (увеличивает) отверстие истечения, образуя необходимую площадь для поддержания постоянного расхода выпуска в ороситель. Таким образом, чем больше Z_c , тем больше растянется пружина, и вращающийся щиток прикроет (или откроет) отверстие, кроме того, имеет значение сопротивление при изменении угла поворота щитка.

В результате поисков и исследований установилось, что расход остается практически постоянным или колебания его не превышают $\pm 5-6\%$. Установлены следующие наиболее выгодные соотношения размеров автомата расхода:

- а) ширина вращающегося щитка $- b_{щ} = b_{от}$;
- б) длина щитка $- l_{щ} = 0,4 b_{щ}$;
- в) высота открытия затвора от дна выпуска до оси вращающегося щитка при максимальном расчетном расходе $A - A = 0,8 b_{от}$,

где $B_{от}$ — ширина отверстия затвора (выпуска).

В статье даны значения коэффициентов расхода и диапазоны поддержания постоянного расхода; последний составляет 5 + 6 раз.

Рекомендуются два стандарта автоматов для участков и временных оросителей с расходами до $Q = 40$ л/сек и до $Q = 200$ л/сек.

Рис. 2.

УДК 626.8

Определение гидродинамических сил
потока, действующих на вращающийся
щиток пружинного автомата,
Тишабаев Б.Т.

"Труды САННИРИ", вып. II5, 1967

В статье кратко описывается принцип работы пружинного автомата, методика расчета действующих сил на вращающийся щиток для трубчатых выпусков.

Даны результаты лабораторных исследований по определению гидродинамических давлений в виде эпюр, которые сопоставлены со статическими расчетами.

Предложенные зависимости для частного решения упрощенного пружинного автомата постоянного расхода воды с вращающимся щитком дают расчетные зависимости, позволяющие с достаточной точностью определить:

- 1) величину гидродинамических сил давления воды на щиток;
- 2) действительную силу, приходящуюся на растяжение пружины $P_{пр}$;
- 3) характер распределения эпюр давления воды на щиток со стороны верхнего бьефа;
- 4) координаты центра приложения сил давления воды на щиток;
- 5) моменты уравновешивающих гидродинамических сил и сил пружины относительно оси вращения O

Рис. 2, библиограф. 3

УДК 626.8

Бороздковый расходомер с самозаписывающим устройством (БРС-63),
Краснов В.Е.

"Труды САНИИРИ", вып. II5, 1967.

Предлагается новый расходомер для измерения расхода воды в голове и по длине поливной борозды.

Бороздковый расходомер состоит из коробки с патрубком определенного диаметра и прибора ДРС-60, обеспечивающего измерение и запись расхода по времени на ленту в течение пяти суток.

Сменные юршни прибора позволяют измерять расходы до 0,75, 2,0 и до 2,60 л/сек. Перепад давлений на расходомере колеблется от 25 до 35 мм.

Преимущество расходомера перед существующими измерительными устройствами, используемыми в настоящее время для измерения расходов воды на борозде, состоит в том, что он работает при очень малом перепаде давлений, обеспечивая показание и запись расхода на ленту.

В статье приводятся характеристики расходомера, методика тарировки прибора и разбивки расходной шкалы, а также рекомендации по эксплуатации. Погрешность при измерении расхода на борозде не превышает 2%.

Таблиц 7; рис. 4.

УДК 626.8

Об оптимальном объеме телеинформации, получаемой от исполнительной аппаратуры на телеуправляемых ирригационных системах, Салихов М.Р.

"Труды САНИИРИ", вып. II5, 1967

Предлагается определение минимального количества передаваемой телеинформации в диспетчерский пункт, необходимого и достаточного для выявления расхода, горизонта воды и их регулирования согласно плану водопользования. При этом учитывалась возможность возложения некоторых функций, выполняемых ранее диспетчером, на аппаратуру местной автоматики при условии, что последняя будет обладать достаточной точностью и надежностью. Кроме того, рассматривалась возможность замены некоторых сигналов телеизмерения сигналами состояния объекта или предупредительной сигнализацией.

Разработана таблица необходимого объема информации в зависимости от свойств сооружений и их оснащенной местной автоматикой.

Таблица I.

СОДЕРЖАНИЕ

И.Б.ХАМАДОВ, В.П.СУДАКОВ – Некоторые общие задачи и область применения гидравлических и электрических систем авторегулирования в ирригационных каналах	3
И.Б.ХАМАДОВ, Л.А.ОМ – Принципиальная схема и режимы работы каналов с системами регулирования по верхнему бьефу	31
И.Б.ХАМАДОВ, Л.А.ОМ, Б.С.ПЛУТНО – Принципиальная схема и режимы работы каналов с системами гидравлического авторегулирования по нижнему бьефу	48
И.Б.ХАМАДОВ, Л.А.ОМ – Принципиальная схема и режимы работы каналов с системами смешанного авторегулирования	80
М.П.САЛЬНИКОВ – Расчет поплавкового регулятора уровня для водовыпусков закрытой оросительной сети	95
Б.Т.ТИШАБАЕВ – Автомат постоянного расхода воды для внутрихозяйственных водовыпусков	104
Б.Т.ТИШАБАЕВ – Определение гидродинамических сил потока, действующих на вращающийся щиток пружинного автомата	117
В.Е.КРАСНОВ – Бороздковый расходомер	127
М.Р.САЛИХОВ – Об оптимальном объеме телеинформации, получаемой от исполнительной аппаратуры на телеуправляемых ирригационных системах	142
К.А.АВЛЯНОВА – Итоги московского семинара по автоматизации и телемеханизации гидромелиоративных систем и задачи научно-исследовательских и учебных институтов /информационное сообщение/	154