

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК

16

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ

СУВ ПРОБЛЕМАЛАРИ ВА ГИДРОТЕХНИКА ИНСТИТУТИ

ГИДРОТЕХНИКА МАСАЛАЛАРИ

16-КИТОБ

ГИДРОМЕЛИОРАТИВ СИСТЕМАЛАРНИ
АВТОМАТЛАШТИРИШ

ЎЗБЕКИСТОН ССР ФАНЛАР АКАДЕМИЯСИ НАШРИЁТИ

ТОШКЕНТ-1963

АКАДЕМИЯ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ИНСТИТУТ ВОДНЫХ ПРОБЛЕМ И ГИДРОТЕХНИКИ

ВОПРОСЫ ГИДРОТЕХНИКИ

ВЫПУСК 16

АВТОМАТИЗАЦИЯ
ГИДРОМЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК УЗБЕКСКОЙ ССР
ТАШКЕНТ-1963

В сборнике освещены вопросы истории развития конструкций авторегулирующих устройств, автоматизации и телемеханизации оросительных систем, приведены расчеты водораспределения на каналах и в условиях диспетчерского управления; даны обзор литературы и предложения по выбору затворов-автоматов гидравлического действия, авторегуляторов и водометров, разработанных лабораторией автоматизации гидромелиоративных систем ИВПиГ АН УзССР.

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

Редакционная коллегия

З. Х. ХУСАН-ХОДЖАЕВ (отв. редактор), член-корреспондент АН УзССР М. С. ВЫЗГО, С. Г. ЗАПРОМЕТОВ, Е. Д. РОЖДЕСТВЕНСКИЙ, А. М. МУХАМЕДОВ, М. Р. БУТЫРИН, М. В. ВАСИЛЬЕВ, И. И. ГОРОШКОВ, Н. Ф. ЦВЕТИКОВА, Г. Г. ВАЛЕНТИНИ.

И. Б. ХАМАДОВ, Н. Ш. ХАМАДОВА

К ВОПРОСАМ ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ, ИХ КЛАССИФИКАЦИИ И ВЫБОРА¹

ВОДОДЕЙСТВУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ДРЕВНИХ ВЕКОВ

Идея применения автоматических водорегулирующих устройств, работающих на гидравлической энергии потока, существует с глубокой древности. Давление воды для автоматического приведения в действие некоторых устройств использовалось еще в древнем Египте, Греции, Риме, Средней Азии и других государствах. Например, уже в 219 г. до н. э. в храмах города Александрии (Египет) применялся автомат для продажи «священной воды», описанный знаменитым физиком и инженером древности Героном (I—II в. до н. э.); известны также гидравлический будильник Платона (IV в. до н. э.) в Греции — прототип водяных часов Архимеда, — возвещавший время и созывавший по утрам его учеников, водяные часы Ктесибия с передвижной стрелкой, водяные часы Марка Витрувия с вращающейся стрелкой (Рим, конец I в. до н. э.) [56, 63, 64, 133, 134], а также самые разнообразные автоматические приспособления в системах водоснабжения.

«Автоматы, наверное, так же стары, как и человеческие существа», — заметил австрийский ученый Гейнц Цеманек, выступавший в Москве с лекцией о развитии автоматических устройств и машин.

Даниил Бернулли в своей классической работе «Гидродинамика или записки о силах и движениях жидкостей» [27, стр. 11], первоначально изданной в 1738 г., писал: «Хотя теория жидкостей непрерывно разрабатывалась уже с древнейших времен, тем не менее она не получила значительного развития.

Действительно, познания древних математиков ограничивались тем, что они понимали общее равновесие покоящихся жидкостей или твердых тел и жидкостей, в которых тела пребывают, о чем писал Архимед. И так, как сверх того само по себе ясно, что там, где нет равновесия, возникает движение в направлении места меньшего давления, то, исходя из этого, древние математики сумели придумать различные игрушки и гидравлические машины, отлично служившие частью для увеселения, частью для общественных нужд, и в этом деле они действительно оказались весьма изобретательными».

КРАТКИЙ ОБЗОР РАЗВИТИЯ ЗАТВОРОВ-РЕГУЛЯТОРОВ, ЗАТВОРОВ-АВТОМАТОВ И ДРУГИХ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ

Затворы являются составной частью оборудования гидротехнических сооружений и с древнейших времен выполняли функции регулиро-

¹ Ввиду ограниченности размера статьи некоторые части изложены конспективно со ссылками на использованную литературу.

вания. Поэтому затворы как регуляторы представляют собой важнейшие элементы гидротехнических сооружений. Они прошли долгий путь развития — от самых примитивных устройств до современных автоматических типов затворов гидравлического действия [4, 23, 40, 53, 80, 117 и др.]. В создании новых и разнообразных, все более рациональных и оригинальных конструкций затворов, значительную роль сыграли достижения в области технических наук — машиностроения, электротехники, гидромеханики, гидравлики, строительных материалов и т. д.

Развитие конструкций затворов происходило на базе развивающейся промышленности и растущих потребностей основных отраслей водного хозяйства — ирригации, энергетики, водного транспорта, водоснабжения и т. д.

А. Р. Березинским [23, стр. 13—14] выделено четыре основных периода в развитии затворостроения.

1-й период — с глубокой древности до появления камерных шлюзов в XV—XVII вв. Этот период характеризуется применением примитивных деревянных затворов для небольших отверстий плотин, обслуживающих нужды только одной из отраслей водного хозяйства: вначале орошения или водоснабжения, или лесосплава и т. д., а в дальнейшем (XIII в.) и водного транспорта.

2-й период — XVII—XVIII вв., развитие первых инженерных конструкций затворов, в частности, шлюзовых, в связи с сооружением судоходных камерных шлюзов.

3-й период — XIX в., расцвет затворостроения, появление основных типов затворов, в том числе и гидравлических. Этот период характеризуется широким применением металлических затворов, достигших к концу века значительных размеров и сложности, с усовершенствованными подъемными механизмами (электромоторы) на плотинах для комплексного удовлетворения нужд нескольких отраслей водного хозяйства.

4-й период — XX в., развитие затворов гидравлического действия, автоматизация работы затворов, рационализация их конструкций (особенно в отношении гидравлики обтекания, материалов изготовления, эксплуатации, экономики и т. д.), интенсивный рост габаритов затворов, а также усовершенствование подъемных механизмов (увеличение грузоподъемности до 200—300 т, управление на расстоянии и т. д.).

Схема развития конструкций затворов водосливных отверстий по А. Р. Березинскому представлена на рис. 1.

Эволюция конструкции затворов по передаче давления воды на гидротехнические сооружения была следующей. Первоначально затворы передавали давление воды только на быки и устои, затем на флютбет и, наконец, на быки и флютбет.

Древнейшими конструкциями затворов являются шандоры, которые с течением времени укрупнились и превратились в плоские затворы с вертикальным поступательным перемещением.

Возникнув еще до нашей эры, плоские затворы в своем развитии прошли путь от примитивных до скользящих (в которых давление воды при маневрировании затворами создает трение скольжения в опорных частях и уплотнениях), затем, с возрастанием габаритов затворов, от скользящих до колесных (в которых трение скольжения заменяется более малым по величине трением качения в катках¹ и коле-

¹ Катковые тележки, впервые примененные в 1883 г и получившие распространение в начале XX в. [23], как и гусеничные опоры (бесконечная лента с роликами) [79], из-за ряда недостатков в настоящее время не применяются.

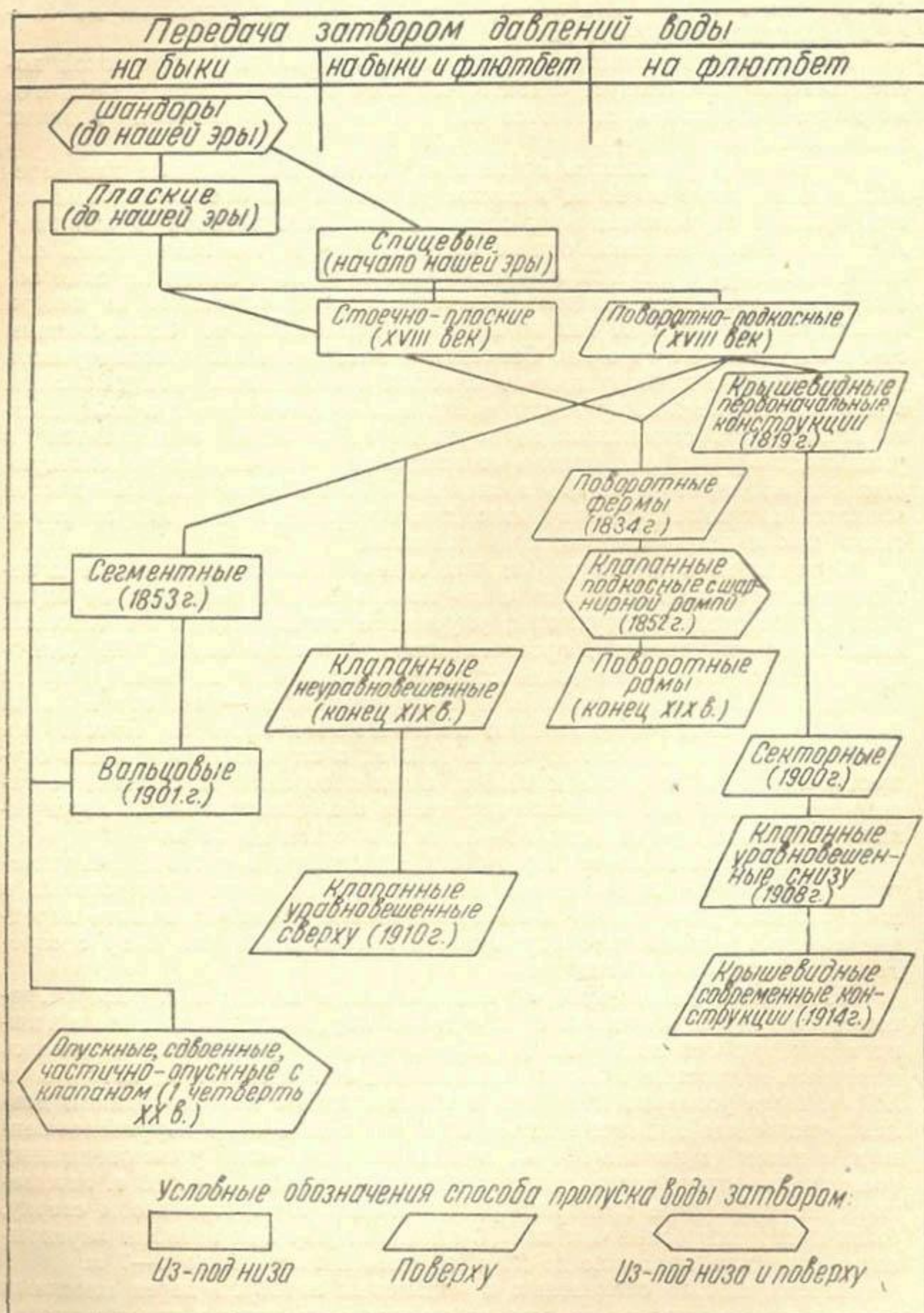


Рис. 1. Схема развития конструкций затворов водосливных отверстий плотин, по А. Р. Березинскому [23].

сах) и, наконец, до колесных с подшипником качения. Позднее были применены сдвоенные затворы, а также плоские со льдосбросными клапанами. Плоские затворы в настоящее время — наиболее распространенный тип затворов для перекрытия отверстий с пролетами до 40—45 м и высотой до 17—18 м.

Рассматривая развитие конструкций затворов в исторической последовательности, следует сказать, что плоские, спицевые и поворотные затворы являются исходными конструкциями поздних типов затворов.

Стремление уменьшить подъемные усилия, необходимые для перемещения плоского затвора, а также упростить его опорно-ходовые части, привело первоначально к созданию плоского затвора, вращающегося вокруг неподвижной оси на опорных ногах (так называемый сегментный затвор с плоской напорной поверхностью). Затем плоская обшивка затвора была заменена цилиндрической, описанной из центра вращения опорных ног. Так во второй половине XIX в. были созданы сегментные затворы. Сегментные затворы можно рассматривать как переходные конструкции от плоских к вальцовым, объединяющие при этом многие преимущества обоих типов. Наибольшее преимущество конструкций сегментных затворов перед плоскими заключается в уменьшении у них сил трения от давления воды, ибо равнодействующая сил проходит через ось вращения. Форма напорной поверхности обшивки одинаково благоприятна для восприятия как гидростатического, так и гидродинамического давления.

С течением времени требования гидротехнической практики к затворам возрастали. Увеличение до максимальных размеров перекрываемых отверстий сооружений, улучшение эксплуатации в тяжелых климатических условиях, простота маневрирования затворами, благоприятное использование воздействующего давления на затвор, почти полное исключение сил трения при его движении — все это привело в начале XX в. к возникновению вальцовых затворов. Патент на вальцовые затворы был получен в 1900 г., а первые из них были осуществлены в 1902 г., уже к 1914 г. были построены 72 плотины с такими затворами [15]. В настоящее время вальцовые затворы перекрывают отверстие пролетом до 50—60 м и высотой до 13 м.

Первые вальцовые затворы были выполнены в чисто цилиндрической форме, позднее (особенно после гидравлических исследований в лабораториях ряда стран) к напорной стенке стали устраивать передние козырьки, создающие отрыв струи потока в нижний бьеф с определенной точки низа затвора.

Еще ранее (конец XIX в.) были созданы и получили распространение на гидротехнических сооружениях неуравновешенные клапанные затворы без подкосов. Прообразом клапанных затворов явились поворотно-подкосные затворы, известные еще в XVIII в., которые в XIX в. были усовершенствованы в конструкции с использованием давления воды для маневрирования ими, сначала в виде неуравновешенных, а затем (в начале XX в.) в виде гидравлически уравновешенных (сверху или снизу противовесами и гидравлически). К 1950 г. автоматические клапанные затворы, уравновешенные противовесом сверху, были построены более чем на 100 плотинах [23]. Эти затворы перекрывают отверстие пролетом до 25 м и более и высотой до 6—7 м.

Преимущество сегментных и вальцовых затворов перед плоскими состоит в возможности использования давления воды в качестве добавочной подъемной силы затвора, которое является одним из способов уменьшения мощности и веса подъемных механизмов. То же самое можно сказать о клапанных затворах, но здесь давление воды приме-

няется для поворота полотнища затвора. Возможность использования давления воды привела также к созданию некоторых видов поплаво-во-плоских затворов с переменным балластом воды.

В мировой практике гидротехнического затворостроения начала XX в., кроме затворов с частичным использованием давления воды, были созданы затворы с полным использованием давления воды в качестве основного «побудителя» движения. К ним относятся вододействующие затворы с камерами давления воды: крышевидные «Бертреп», «Дахвер», барабанные — «Друм», секторные, клапанные с гидравлическими «педалями» и др.

Следует отметить, что крышевидные затворы являются как бы родоначальниками вододействующих затворов. Принцип, по которому устроены крышевидные затворы, был известен в Голландии в 1770 г. и применялся при возведении шлюзовых ворот. Основная мысль этого принципа, независимо от нидерландской практики, нашла применение в США. Первыми осуществили этот тип затвора на плотине реки Mauch Chunk Creek (в Пенсильвании) в 1818 г. Josin Whit и Erskine Hazard [80]. Уже в 1819 г. было построено 12 таких затворов на реке Лехай. Этот тип затвора получил название «Бертреп» (Beartrap)¹. В дальнейшем крышевидные затворы, усовершенствованные и построенные в 1914 г. швейцарскими инженерами Губером и Лютцем, получили в Европе название «Дахвер». За 20—25 лет было смонтировано и построено свыше 150 автоматических крышевидных затворов. Эти затворы могут перекрывать отверстия пролетом до 40—45 м и высотой 6—7 м [23, 127].

Секторные затворы были предложены в 1900 г., а впервые осуществлены в 1907 г. на плотине Локпорт (Lockport) канала Иллинойс—Мичиган (США) [55, 126, 127]. Эти затворы могут перекрывать отверстия пролетом более 50 м и высотой 5—7 м.

С введением в конструкцию вододействующих затворов ряда регулирующих устройств для подачи воды в камеры давления соответственно характеристикам (положению затвора и горизонтам воды) появилась возможность автоматического регулирования горизонтов воды верхнего бьефа в зависимости от изменения расхода. Уже к 1935 г. было известно свыше 250 плотин с такими автоматизированными затворами гидравлического действия [16].

Появлению новых конструкций затворов способствовал объявленный в 1906 г. в Австро-Венгрии Всеобщий конкурс по разборчатым речным плотинам. Этот конкурс дал новые разнообразные конструкции затворов, включая и вододействующие с автоматическим управлением, получивших впоследствии широкое практическое применение [141].

В 1920—1930 гг. автоматическое управление горизонтами воды верхнего бьефа сооружений осуществляется уже с помощью затворов-автоматов гидравлического действия различных конструкций (без камер давления воды): сегментных², вальцовых, плоских (поплавки). Эта группа автоматических затворов действует при нарушении равновесия сил (или моментов сил) между собственным весом, противовесом, поплавками, водяным балластом и прочими добавлениями, предусмотрен-

¹ Интересно происхождение этого названия затвора. На многочисленные вопросы любопытных зрителей: «Что это такое?» рабочие, занятые постройкой первого такого затвора, которым надоели эти вопросы, коротко отвечали, что они сооружают «западию для медведей» (по-английски «бертреп») [16]. С тех пор затворы Уайта на техническом языке носят это название.

² Автоматических сегментных затворов к 1935 г. насчитывалось около 130 штук; они перекрывали пролеты до 30 м, высотой до 8 м.

ными конструкцией затвора. Нарушение равновесия наступает при изменении горизонтов в верхнем бьефе. Значительное распространение эти автоматические затворы получают позднее в странах Северной и Южной Америки, Европы и Африки (США, Германии, Италии, Франции, Испании, Швейцарии, Голландии, Алжире, Марокко и др.) [14, 15, 22, 23, 26, 42, 46, 55, 57, 67, 68, 80, 127].

В дальнейшем получила распространение группа затворов-автоматов гидравлического действия, не имеющих ни камер давления воды, ни сложных видов противовесов, автоматическое действие которых основано на принципе использования гидродинамического давления потока, действующего непосредственно на тело затвора. К ним можно отнести затворы В. Г. Гебеля, В. С. Муромова, Н. К. Гиринского, Ф. Ермаржа, А. М. Гнатуша, С. М. Налимова, М. Ф. Финке, Я. В. Бочкарева и др.

Автоматический самовкатывающийся вальцовый затвор конструкции В. Г. Гебеля, установленный в 1931 г. на водосбросе ДзораГЭС (Армения), вошел в историю мирового и советского затворостроения как образец оригинального решения вопроса автоматического регулирования горизонта воды верхнего бьефа в условиях быстро нарастающих паводков горных рек [46].

К автоматическим водорегулирующим устройствам, кроме затворов-автоматов гидравлического действия, относятся и такие автоматические устройства (не затворы), в принципе регулирования которых использованы гидравлические свойства потока: например, автоматические сифоны, длинные водосливы, отверстия с сопротивлениями, постоянным напором и т. д. самых различных конструкций.

Идея использования свойств истечения из отверстий для регулирования постоянного расхода или горизонта воды в водорегулирующих устройствах сооружений известна давно. Но только начиная с 20-х гг. нашего века такие устройства-автоматы получили распространение и особенно в ирригации. К ним можно отнести конструкции устройств для поддержания постоянного расхода воды:

а) капитальные сооружения типа модуля Фута (водосливы с длинным фронтом слива и отверстий с постоянным напором);

б) типа Линдлея с постоянным напором на подвижном пороге истечения воды;

в) типа Ривера, Бредиса, «испанского модуля» — с конусообразным поплавком (работающие по принципу изменения рабочего отверстия обратно пропорционально корню квадратному из напора);

г) типа Джибба, Альфа, Журина (работающие по принципу изменения сопротивления прямо пропорционально корню квадратному из напора) и др.

Многогранен и своеобразен вклад техников-новаторов России начала XX в. в развитие автоматических затворов. Об этом свидетельствует хотя бы краткий обзор привилегий, выданных авторам по данному вопросу. Еще в 1900—1903 гг. В. Б. Скотницким и А. Ф. Островским [123], в 1903 г. инженером Ф. Грубинским [54], в 1915 г. инженером И. Амировым [13] и многими другими были предложены устройства для автоматического сброса расходов и регулирования уровня воды верхнего бьефа сооружений. В 1910 г. инженером Л. Кавериним [72], в 1911 г. инженером А. Сидоровым [122], а также другими были предложены устройства для автоматического регулирования расхода воды. Но это был подготовительный период, период накопления знаний, начала развития более высокого уровня и усовершенствования современных водорегулирующих средств автоматики, в настоящее время развиваемых советской школой гидротехников.

НАИБОЛЕЕ ИЗВЕСТНЫЕ ПРЕДЛОЖЕННЫЕ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ АВТОМАТЫ

Автоматических водорегулирующих устройств по данным Всесоюзной патентно-технической библиотеки в настоящее время известно более 400 названий, а всего в мировой литературе — около 1 500. Ниже дано более 100 названий наиболее известных автоматов, перечисленных в исторической последовательности их предложения и применения для энергетических и оросительных систем¹.

За рубежом

Для поддержания постоянного расхода воды в отводы:

1. Модули Фута (конец XIX в. [36, 142].
2. Водовыпуски Кеннеди (конец XIX в.) [36, 69, 120].
3. Испанские модули — конусообразные поплавки, примененные на канале Изабеллы II, который питает водой г. Мадрид (конец XIX в.) [36, 69].
4. Качающийся поплавок (конец XIX в.) [36].
5. Автоматы Джибба, получившие распространение на водовыпусках распределителей Шакат Нижне-Чинабского канала в Пенджабе (Индия) в 1909 г. [36, 69, 866, 121]; такие автоматы применяются в Индии и в настоящее время.
6. Автоматы Губера и Лютца (Германия, 1925 г.) [36, 110].
7. Автоматы Линдлея, примененные в водопроводной сети города Варшавы в 20-х годах нашего столетия [36].
8. У-образные капитальные лотки-водосливы, затопленные сифоны-водосбросы (а также сифоны-отводы со свободным истечением), тарифованные выпуски (типа модуля Фута) и другие устройства французской фирмы «Нейрпик», 20-е годы нашего столетия [2, 29, 52, 71, 104, 106].
9. Автоматические цилиндрические регуляторы расхода конструкций Марко Коглиатти в Италии (50-е годы) [102].
10. Саморегулирующиеся водосливы в Египте (1957 г. [863].
11. Автоматические регуляторы в виде двойного забрала с обратной струей в Пакистане (1957 г.). [866] и многие другие.

Для автоматического сброса избыточных и паводковых расходов воды при достижении определенного горизонта или регулирования этого уровня в верхнем бьефе:

1. Вододействующие затворы с автоматическим управлением подачи воды в камеры давления: крышевидные «Бертреп» (начиная с 1818 г. плотина на реке Mauch Chunk Creek и многие другие в США) [16, 23, 99], «Дахвер» (начиная с 1914 г.) [23, 82, 127], секторные (начиная с 1907 г., плотина Локпорт в США), барабанные «Друм» (начиная с 1916 г., плотина Арроурок (Aggawrock) на реке Бойс (Boise) в США [68, 126, 127], которые получили широкое применение на гидротехнических сооружениях как Северной и Южной Америки, так и Европы.
2. Клапанные затворы-автоматы, уравновешенные сверху:
 - а) противовесом с перекатом на гибкой связи на гидротехнических сооружениях Графенау (Grafenau) в Баварии (Германия, 1913 г.), Веттинген (Wettingen) реки Лиммати (Limmaty) в Швейцарии и др. [67, 68, 110];
 - б) противовесом с коромыслом типа установок на плотине Тремп (Trempr) в Испании, Мюльберг (Mühlberg) реки Ааре (Aare) в Швей-

¹ Не рассматриваются автоматические (самодействующие) водоподъемники для оросительных систем.

царии. Джеймс (James) близ Рихмонда (Richmond) в США [67, 68, 100];

в) противовесом системы инженера Зоммера (Sommer) установок Кадарце в Италии (1927 г.) и другими [68, 67], начиная с первой четверти нашего века.

3. Клапанные затворы-автоматы, уравновешенные снизу:

а) типа установок на плотине Ремпен (с противовесом в шахте) [14, 16];

б) противовесом с коромыслом типа установок на плотине Рено (Reno) в Норвегии (1916 г.) [67, 68], начиная с первой четверти нашего века.

4. Автоматические клапанные затворы (гидравлически уравновешенные с шахтой и сифоном) типа построенных на плотине Эгюзон (Eguzon) реки Крѐз (Creuse) во Франции, а также фирмы Штауверке, построенные в Португалии и Германии [16, 67, 68] в первой четверти нашего века.

5. Автоматические затворы типа гидравлических кессонов на водосливе плотины Фонтанолучча горного потока Дола (гидростанции Форнета), а также фирмы Рива Кольцони на плотинах Моцце Канавезо реки Дора Вальтеа и Мори реки Агуре (Agure) в Италии [16], в первой четверти нашего столетия.

6. Автоматические сегментные затворы с противовесом и качающейся диафрагмой (гидравлической) типа фирмы Този (конструкции инж. Зоммера) на плотине КаларзеГЭС реки Море (More) и плотине реки Чено в Италии [16, 28] и др., в первой четверти нашего столетия.

7. Автоматические сегментные затворы с регулируемыми устройствами внутри бычков (противовесы, поплавки, гибкие тяги, блоки и т. д.), построенные на гидротехнических сооружениях Ландебурга (1927 г.), Мюнстера (1934 г.) в Германии, Велалкампо (1949 г.) в Испании, Донзере (1949 г.) во Франции, Хорзехое (1950 г.) в США и другие [57, 67, 68].

8. Вращающиеся автоматические затворы системы инж. Макола (проект), 20-е годы нашего века [14, 15, 16].

9. Автоматические затворы «Призма» системы Губера и Лютца, первая четверть нашего столетия [14, 67, 68].

10. Быстропадающие клапанные затворы (деревянные, металлические, железобетонные), работающие как автоматы для сброса паводковых расходов воды с принудительным подъемом в первоначальное положение (механическим или автоматическим путем при наличии электроэнергии и устройств управления¹) [14, 68]. Эти затворы используются с первой четверти нашего века на гидротехнических сооружениях США, Германии, стран Южной Америки и т. д.

11. Автоматические сегментные затворы с поплавками на обшивке и противовесами типа АМИЛ французской фирмы «Нейрпик» для поддержания постоянного горизонта воды верхнего бьефа (в комплекте с тарированными отверстиями в виде наклонных щитов или сифонов на отводах), которые получили широкое применение в 30-х годах нашего века на оросительных системах: Алжира, Марокко, Португалии, а позднее — США, Ирака и многих других стран [2, 52, 71, 98, 104, 106, 140].

¹ В дальнейшем усовершенствованные конструкции этих затворов с универсальным устройством (поплавковое управление приводом электромотора) предназначены для поддержания постоянного горизонта или расхода воды [22]. При этом универсальное устройство управления может быть использовано для ряда затворов с механическим приводом.

12. Автоматические вододействующие затворы системы Ф. Ермаржа в Чехословакии (40-е годы) [67, 68].

13. Варианты автоматических затворов дифференциальных типов для поддержания постоянного горизонта воды верхнего бьефа, предложенные в 1940 г. в Американское Бюро патентов (патент № 2207479) [3]. Затворы также предотвращают обратный ток воды в случае повышения уровня воды нижнего бьефа над уровнем верхнего бьефа. Поэтому затворы такого типа применимы для каналов ирригационных систем, которые впадают в море (или океан) с приливами и отливами.

14. Варианты устройств к затворам, дающих возможность автоматически регулировать постоянный уровень или расход воды, которые были запатентованы И. Понсаром в 1955 г. (Бюро патентов США) [112], и многие другие.

Для поддержания постоянного горизонта воды нижнего бьефа:

1. Автоматические сегментные затворы с противовесом-поплавком типа АВИО и АВИС французской фирмы «Нейрпик» (Гренобль), 30-е годы, получившие применение на оросительных системах Алжира, Марокко и других странах [2, 24, 86а, 104, 106].

2. «Модули» с двумя или тремя забральными стенками (на значительных расстояниях друг от друга), позволяющие ограничить изменение горизонтов воды нижнего бьефа отводящего канала независимо от расходов верхнего бьефа, которые были испытаны в 50-х годах нашего столетия на модели в Алжире и осуществлены на узле Джедди (для орошения) в Южном Алжире [86г].

3. Автоматические затворы, предназначенные для поддержания постоянного горизонта воды нижнего бьефа или постоянной разности горизонтов верхнего и нижнего бьефов (описанные Л. Дюма — Франция), которые получили распространение на оросительных системах Алжира и других стран Северной Африки [86в].

4. Автоматы-регуляторы уровня воды для рисовых полей (в виде цилиндра с коромыслом и поплавком) типа французской фирмы «Нейрпик», 50-е годы [2, 52, 104].

5. Автоматические затворы системы «Коралл» (Франция, 50-е годы) [24, 90] и многие другие.

Для поддержания верхнего или нижнего бьефов в зависимости от режимов подходящих расходов воды используются автоматы так называемого смешанного действия.

1. Автоматические затворы дифференциальных типов французской фирмы «Нейрпик» (40-е годы) [2, 17, 104].

2. Варианты усовершенствованных автоматических затворов Бернар Жиретт (Франция, 50-е годы) [24] и многие другие.

Следует отметить, что обычно иностранные фирмы капиталистического лагеря после проектирования, исследования, изготовления некоторых типов конструкций автоматических вододействующих затворов и устройств не заинтересованы в опубликовании объективных научно-технических данных (кроме рекламного характера), ибо эти сведения заключены в рамки патентов и засекреченности из-за конкуренции. Поэтому литературно-технический материал по ним отрывочный и неполный.

В нашей стране

Для поддержания постоянного расхода воды в отводах:

1. Приспособления для регулирования количества воды, вытекающей из напорных резервуаров с переменным уровнем конструкции Л. Герстенберг-Цеха, предложенные в 1909 г. [47].

2. Приборы для автоматического регулирования расхода жидкости конструкции Л. Каверина, 1910 г. [72].

3. Сифонные автоматы А. Н. Костякова, предложенные в 1923 г. [36, 142].

4. Диафрагменные автоматы В. Д. Журина, Д. П. Рузского, исследованные в 1924 г. [69, 120, 121, 142].

5. Поплавковые устройства А. И. Бутыхова с водосливными отверстиями для пропуска установленного расхода воды независимо от изменения напора, 1927 г. [39].

6. Автоматы-водомеры постоянного расхода воды — качающиеся щиты (Г-образной формы) и автоматы, основанные на принципе удара струй, А. И. Бредиса, 1927 г. [34, 36, 142].

7. Подъемно-опускные щитовые затворы с автоматическим регулированием воды через водопропускные отверстия сообразно уровню в водоприемнике конструкции К. И. Дониса, 1930 г. [66].

8. Автоматические регуляторы расхода воды в водосливных отверстиях (с вращающимися платформами нижнего бьефа) конструкции В. Р. Ридигера, 1930 г. [118].

9. Автоматические водосливы-регуляторы расхода воды (в виде поплавка трехгранной призмы, перемещающегося по направляющим) конструкции В. С. Муромова, 1935 г. [96].

10. Диафрагменные автоматы-выпуски постоянного расхода воды В. Я. Гладких, конец 30-х гг. нашего века [36, 49].

11. Сифонные автоматы В. Н. Курносова, 1936 г. [36, 81, 142].

12. Автоматы-водомеры с вращающимися щитами конструкции А. М. Каграманова и М. В. Бутырина, 1937 г. [36, 73, 142].

13. Затворы-автоматы системы САНИИРИ с противовесом и уливкой конструкции Д. П. Колодкевича, 1937 г.

14. Регуляторы-автоматы расхода воды К. И. Лубны-Герцик, 1938 г. [36, 83].

15. Пружинные затворы-автоматы постоянного расхода воды конструкции М. В. Бутырина (типы Б-1, Б-2; 1938—1940 гг.) [36, 142], которые в видоизмененной форме применяются на оросительных системах УзССР [37].

16. Автоматы-водомеры ВНИИГиМ-1, и ВНИИГиМ-2 конструкции К. А. Захаровой и В. А. Шаумяна (1944—1945 гг.) [141], которые представляют собой усовершенствованные конструкции автоматов ЮжНИИГиМа, разработанные и испытанные еще в 1935—1936 гг.

17. Автоматы-регуляторы различных конструкций Д. К. Алекси, 1949 г. [6, 7].

18. Автоматы расхода воды Г. Ф. Домбровского, 1949 г. [65].

19. Автоматы для регулирования и поддержания постоянного расхода воды Ф. И. Пикалова, 1950 г. [109].

20. Автоматические сифонные водоподъемники системы УкрНИИГиМа (конструкции Г. В. Мозгового), 1951 г. [94].

21. Дозаторы непрерывного действия для жидкостей, конструкции Ю. В. Видинеева, 1952 г. [41].

22. Автоматические водовыпуски-водомеры системы АрмНИИГиМа (конструкции Н. А. Нуриджаняна и Г. А. Амбарцумяна), 1953 г. [10, 12, 92].

23. Автоматические водовыпуски системы АрмНИИГиМ-2 (конструкции А. К. Кашыкеманяна и Г. А. Амбарцумяна), 1954 г. [11], использующие динамические свойства струи истечения.

24. Трубчатые автоматические водомеры-регуляторы расхода воды (ТАВР-56) конструкции И. С. Меркурьева, предложенные

в 1956 г. и испытанные в 1957—1958 гг. на Дмитровском опорном пункте ВНИИГиМа [90, 62].

25. Водомеры-регуляторы М. Н. Хуторянского для ирригационных каналов 1956 г. [135].

26. Переносные сифоны-водовыпуски с регулированием расхода воды конструкции А. И. Соколова, 1956 г. [124].

27. Автоматические цилиндрические затворы (типа Коглиатти) и двустворчатые сегментные затворы системы Гипроводхоза, запроектированные для Гардабанской оросительной системы, 1957 г. [87, 95, 103, 115].

28. Автоматические водосливы-водомеры конструкции Н. А. Алиева (1957 г.), установленные на одном из объектов оросительной системы Ташкентской области [8].

29. Автоматы постоянства расхода воды для каналов предгорной зоны конструкции Я. В. Бочкарева, предложенные в 1957 г. [31, 33].

30. Поплавковые автоматы конструкции И. Б. Чижа [137], 1958 г.

31. Водомеры-регуляторы А. Б. Дворкина, для оросительных каналов, 1959 г. [59].

32. Автоматические устройства для регулирования расхода воды конструкции В. К. Гладкова, предложенные в 1960 г. [50], и многие другие.

Для автоматического сброса паводковых вод при достижении определенного горизонта воды или поддержания постоянного горизонта верхнего бьефа¹:

1. Самодействующие плотины с вращающимися щитами различных конструкций В. Б. Скотницкого и А. Ф. Островского, предложенные в 1900—1903 гг. [123].

2. Приборы Ж. Л. А. Мейссонье для автоматического открывания и закрывания выпускных отверстий в резервуарах с жидкостью, снабженных водосливами, 1901 г. [88].

3. Самодействующие плотины с вращающимися щитами Ф. Грубинского, 1903 г. [54].

4. Автоматические плотины конструкции Ф. Покорного, 1904 г. [111].

5. Поворотные плотины, автоматически регулирующие верхний уровень воды конструкции А. Г. Штауверке, 1909 г. [139].

6. Устройства А. Сидорова для автоматического и периодического выпуска воды из малых резервуаров, 1911 г. [122].

7. Самодействующие поворотные щиты И. Амирова для плотин, 1915 г. [13].

8. Автоматические регулирующие устройства для вододействующих секторных и крышевидных затворов (типы White, Beartrap, Dachwer) конструкции Г. Ш. Меклера, 1926 г. [89].

9. Дисковый затвор-автомат Г. К. Ризенкампа и В. Г. Гебеля для сброса воды, 1926 г. [119].

10. Самодействующие поворотные щиты Б. Д. Карпмана для плотин, 1927 г. [75].

11. Затворы-автоматы «Призма» (системы Губера и Лютца), установленные на водосбросе Канакерской ГЭС каскада № 1 Армян-энергосистемы в 1928 г. и на других объектах [21, 53, 76].

12. Откидные вращающиеся щитовые затворы А. О. Берникера для гидротехнических сооружений, 1929 г. [25].

¹ Приводятся только наиболее известные поверхностные затворы-автоматы и устройства и не рассматриваются вододействующие донные затворы (например, предложение П. П. Лаупмана и др.), а также колоколообразные вододействующие затворы для водосливов и. д.

13. Самодействующие вертикально-поворотные затворы Я. К. Потанина для водопропускных отверстий гидротехнических сооружений, 1930 г., усовершенствованные в 1933 г. [113].
14. Автоматический вкатывающийся при паводках вальцовый затвор В. Г. Гебеля, установленный в 1931 г. на водосбросе ДзораГЭС (Армения) [46, 53, 67, 68].
15. Автоматические гидравлические затворы конструкции В. Канунникова, 1932 г. [74].
16. Автоматические клапанные затворы, уравновешенные противовесами на коромысле снизу (р. Чиппева) или сверху для пропуска паводка и шуги, 30-е годы нашего века [53, 70].
17. Плоские затворы-автоматы с наклонными опорами и противовесами конструкции Н. К. Гиринского, 1935 г. [17, 48].
18. Проекты секторных и крышевидных («Дахвер») затворов гидравлического действия для плотин Ярославской ГЭС и р. Северного Донца Антиторецкой системы [21, 53], составленные Гидроэнергопроектом в 30-х гг.
19. Откатные автоматические затворы системы А. М. Гнатуша, 1935 г. [17, 51].
20. Автоматические сегментные затворы, имеющие противовесы и поплавки с гибкой блочной системой, которые были построены на плотине Кегумс (Западная Двина) близ г. Риги в 30-х гг. [67, 68, 136].
21. Автоматические регуляторы конструкции А. Д. Разоренова, которые в 1945—1954 гг. получили применение на Краснодарских рисовых оросительных системах [87, 115, 116].
22. Клапанные затворы-автоматы «с колесом моментов» и противовесами, которые начиная с 1948 г., установлены на каскаде гидросооружений ГЭС Узбекэнерго (Аккавак-2, Бурджуар и др.) [61], усовершенствованные Д. З. Альтерманом [9].
23. Клапанные затворы-автоматы с лекальной подвеской груза-балансира конструкции М. Ф. Финке, получившие распространение на гидротехнических сооружениях Правобережного Зеравшанского канала Узбекской ССР (Янги-Беш, Янги-Кара, Яккабаг и др.) [101, 105, 128, 130] и в Таджикской ССР, начиная с 1949 г. (в настоящее время построено более 45 штук) [61], а также другие варианты [130].
24. Вододействующие затворы типов: секторных, барабанных «Друм», крышевидных «Дахвер» с автоматическим регулированием в виде улучшенных конструкций С. В. Тарановского, Л. Ф. Линева [82, 99, 127], 40-е годы нашего века.
25. Вододействующие дерево-металлические или железобетонные секторные затворы Гидросельэлектро, исследованные в 1954—1959 гг. и осуществленные на Шильской, Перевозской и др. ГЭС [114, 141].
26. Автоматические уравновешенные сегментные затворы с поплавковой камерой конструкции Т. И. Мамышева, которыми были оборудован узел канала Джун в Узбекской ССР (исследованные в 1954 г.) [1, 85].
27. Автоматические вальцово-сегментные затворы (с опорными частями в виде двух осей вращения) конструкции С. М. Налимова, 1956 г. [97].
28. Автоматические клапанные плоские и сегментные затворы конструкции Я. В. Бочкарева, предложенные в 1956 г., и с 1960 г. установленные на сооружении Р-7 Западного БЧК и других сооружениях оросительных систем Киргизии [30, 32, 33].
29. Автоматические сегментные затворы конструкции Э. Э. Маковского, 1957 г. [84].

30. Автоматические воздушно-гидравлические регуляторы на трубо-чато-напорных перепадах конструкции Н. О. Филлипова, испытаны Южгипроводхозом в 1956—1957 гг. на перепадах Багаевско-Садковской и Нижне-Донской оросительных систем [93, 131].

31. Водозаборное сооружение с автоматическими клапанными затворами конструкции Д. Джайчибаева, 1959 г. [60].

32. Затворы-автоматы конструкции К. Ф. Артамонова [18, 19, 20], предложенные в 1959 г.

33. Автоматические сегментные затворы с поплавком на обшивке и контргрузом типа «Нейрпик» (сегментные автоматы для лотков параболического сечения СПА-30, СПА-50, СПА-90, СПА-110), экспериментально исследованные в гидрометрической лаборатории ИВПиГ АН УзССР, начиная с 1957 г., и разработанные в виде типовых. Средазгипроводхлопом [43, 107, 129]; в настоящее время установлены в совхозах № 5 и № 6 Голодной степи.

34. Автоматические сегментные затворы с поплавками в боковых колодцах конструкции А. А. Гартунга [44], исследованные в гидрометрической лаборатории ИВПиГ АН УзССР, (1959—1960 гг.) и получившие применение на оросительной сети Голодной степи (совхозы № 5 и № 6).

35. Автоматические сегментные затворы верхнего бьефа (статического действия) конструкции Э. Э. Пеплова [108]: а) с поплавком в колодце; б) с емкостью, заполняемой водой, которые соединены с верхним бьефом. Эти затворы имеют гибкую связь через блоки и лекала, предложены в 1958—1960 гг. В настоящее время строятся на ирригационных системах Голодной степи (например, в совхозе № 6).

36. Автоматические вододействующие затворы для поддержания постоянного горизонта воды верхнего бьефа на малых водотоках конструкции Б. П. Даниленко [58], основанные на изменении веса затвора от заполнения и опорожнения воды в пространстве между передними и задними стенками конструкции, предложены и испытаны в 1958 г.

37. Автоматические плоские вододействующие затворы верхнего бьефа (с вращением полотнища затвора по опорным кривым, очерченным по дуге круга) конструкции В. Ф. Розенблата, испытанные в Гидравлической лаборатории ТИИИМСХ, 1959—1960 гг.

38. Вододействующие затворы клапанного типа Н. М. Будтолаева для одностороннего пропуска приливно-отливных течений в открытых руслах, 1960 г. [35].

39. Автоматический затвор гидравлического действия при малых перепадах конструкции И. Б. Хамадова, 1960 г., [132], и многие другие.

Для поддержания постоянного горизонта воды нижнего бьефа:

1. Автоматические регуляторы конструкции А. Д. Разоренова, применяемые на Краснодарских рисовых оросительных системах ИВПиГ АН УзССР [87], 1955 г.

2. Автоматические сегментные затворы нижнего бьефа (статического действия) с грузом в колодце, соединенным с нижним бьефом, конструкции Э. Э. Пеплова, предложенные в 1958 г. и исследованные в лаборатории НИИС Московской Тимирязевской сельскохозяйственной академии.

3. Автоматические сегментные затворы с поплавками в боковых колодцах конструкции А. А. Гартунга, исследуемые в настоящее время в лаборатории автоматизации гидромелиоративных систем ИВПиГ АН УзССР, и многие другие.

Современные тенденции развития автоматических водорегулирующих устройств и затворов определяются возможностью удовлетворения все возрастающих эксплуатационных, конструктивно-строитель-

ных и технико-экономических требований, а также комплексного решения проблемы автоматизации производственных процессов на гидроэнергетических и оросительных системах.

О КЛАССИФИКАЦИИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ВОДОРЕГУЛИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ И ЗАТВОРОВ

Для облегчения работы, сравнения достоинств и недостатков, а также выбора существующих и предложенных автоматических водорегулирующих устройств и затворов необходима их классификация.

Труды Н. П. Пузыревского, К. А. Акулова, В. Колпычева, Б. Ю. Калиновича, Г. А. Козлова и др., изданные еще в 1909—1914 гг. [5, 14, 23, 77, 78], являются первыми опытами составления классификации затворов плотин (особенно разборчатых типов).

Одна из первых классификаций была дана в 1923 г. проф. В. Д. Журиным [69]. Затем, применительно не только к ирригационным сооружениям, но и к отверстиям гидротехнических сооружений вообще, предназначенных для комплексного удовлетворения требований нескольких отраслей водного хозяйства, схемы классификаций были развиты учеными советской школы гидротехников.

Наиболее близкой к полной классификации затворов верхнего строения плотин является классификация, приведенная в «Технических условиях и нормах проектирования металлических затворов», изданных в 1935 г.

В работах Н. И. Анисимова [14, 15, 16] и В. Г. Гебеля [45] в начале 30-х гг., К. И. Лубны-Герцик [83] в 1937 г., З. Ф. Ничипуренко [100] в 1939 г., А. Р. Березинского [21, 23] в 1935—1949 гг., М. В. Бутырина [36] в 1940 г., С. М. Налимова в 1956 г., И. С. Меркурьева [90] в 1957 г., Я. В. Бочкарева [33] в 1960 г. и других, а также чешского профессора Ф. Ермаржа [67, 68] в 1956 г., французского инженера Пьера Жироде [86e] в 1956 г. можно найти наиболее полные классификации автоматических водорегулирующих устройств и затворов гидротехнических сооружений (в нашем случае применительно к энергетическим и оросительным системам). В этих же работах приводятся описания их конструкций, принципы работы, преимущества и недостатки. Ниже даны схемы классификаций В. Д. Журина, М. В. Бутырина:

Классификация водовыпусков по В. Д. Журину (1923 г.) [69]

II группа Водовыпуски с автоматическим постоянством расхода:

1. Приборы с постоянством рабочей площади, действующего напора и коэффициента расхода:
 - 1) сифонный автомат;
 - 2) водовыпуск Линдлея и другие.
2. Приборы с изменением рабочей площади обратно пропорционально корню квадратному из напора:
 - 1) конусообразный поплавков;
 - 2) качающийся поплавков и другие.
3. Приборы с возрастающими сопротивлениями, при увеличении напора, или с коэффициентом расхода, изменяющимся обратно пропорционально корню из напора:
 - 1) водовыпуск Джибба;
 - 2) диафрагмовый автомат и другие.

Классификация класса водомеров-автоматов (регуляторов) постоянного выдела воды, по М. В. Бутырину (1940 г.) [36]

Основанные на принципе регулирования

- | | |
|---|--------------------------------|
| I группа — водомеры, $H = \text{const}$ | 1. Водомер Фута. |
| | 2. Линдлея. |
| | 3. Сифонный автомат Костякова. |
| | 4. Сифонный автомат Курносова. |

II группа — водомеры, изменение отверстия обратно пропорционально $\sqrt{H}$

1. Водомер Бредиса (с поплавком).
2. Конусообразный поплавок.
3. Качающийся поплавок.
4. Водомер Huber und Lutz.

III группа — водомеры, изменение величины сопротивления прямо пропорционально $\sqrt{H}$

1. Джибба.
2. Журина.
3. Гладких.
4. Бредиса.
5. Лубны-Герцика.

На рис. 2, 3 показаны схемы классификаций И. С. Меркурьева и З. Ф. Ничипуренко.

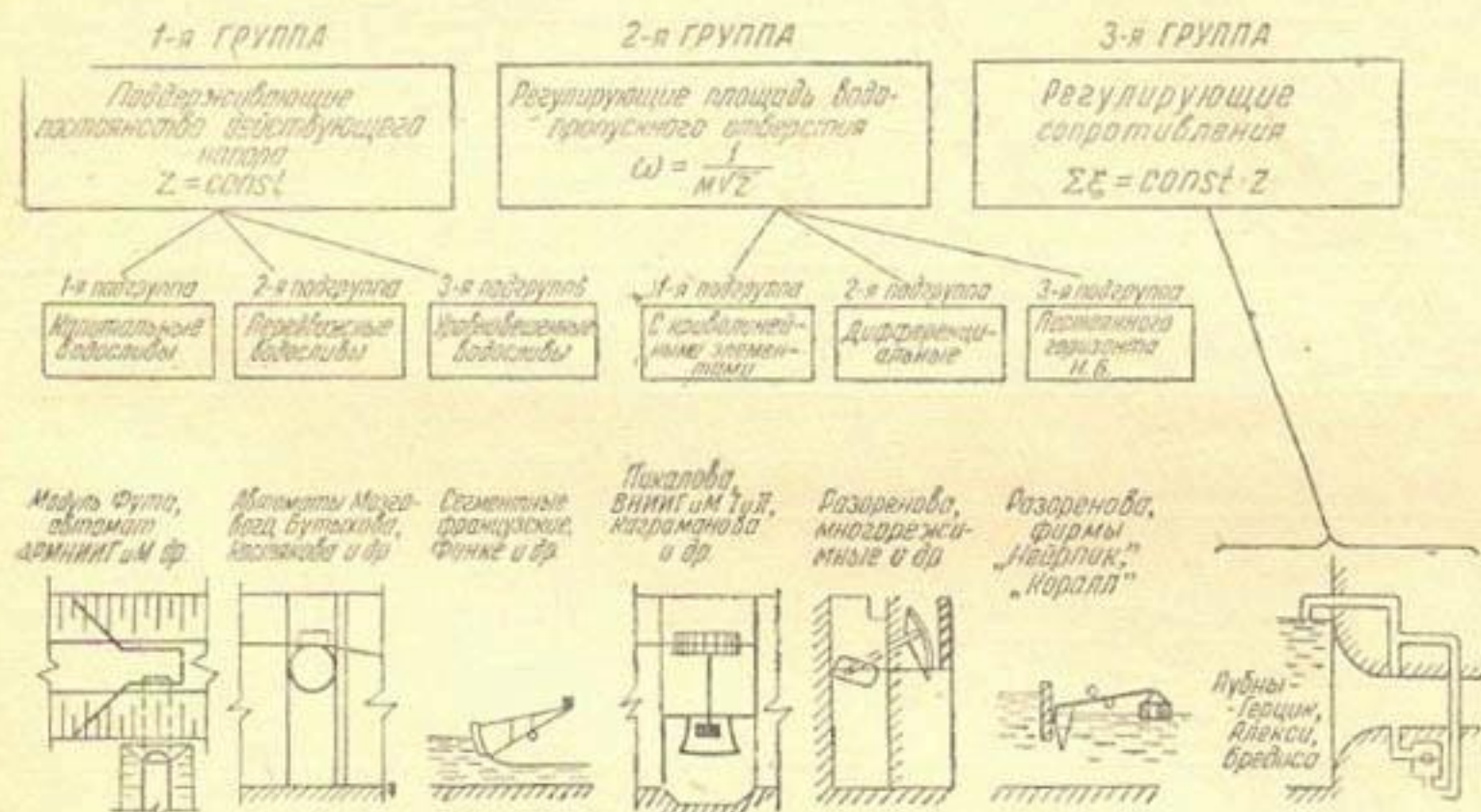


Рис. 2. Классификация автоматических водорегулирующих устройств, по И. С. Меркурьеву [90], $Q = \mu \omega \sqrt{2gz}$.

Если рассматривать классификации затворов (механического действия и гидравлического действия) для водосливных отверстий [16, 23, 53, 67, 68, 70, 91, 125], то обобщение их в группы производится по характеристикам затворов, состоящим из следующих обобщающих элементов или признаков:

- 1) местоположение затвора (поверхностные и глубинные);
- 2) способ передачи затвором давления воды на неподвижные части гидротехнических сооружений (на быки или устои, на флютбет);
- 3) способ пропуска воды затвором (из-под низа, поверху и т. д.);
- 4) характер движения затвора при маневрировании (поступательное, вращательное, перекачивание или их комбинации);
- 5) тип привода затвора (механический, гидравлический и т. д.);
- 6) конструкция затвора (плоские, сегментные, вальцовые, крышевидные, секторные и т. д.);
- 7) материал для изготовления затвора (металл, железобетон, дерево и т. д.);
- 8) назначение затвора (основные — эксплуатационные, аварийные, ремонтные, строительные и т. д.).

Наиболее распространенные классификации производятся по признакам 2—6.

Если рассматривать классификации автоматических водорегулирующих устройств (включая и автоматы-затворы), предназначенных для гидротехнических сооружений оросительных и гидроэнергетических систем, то обобщение их можно производить не только по вышеука-

занным характеристикам, но и по основным элементам и свойствам, специфичным только для них. Поэтому автоматические водорегулирующие устройства могут быть классифицированы по следующим специфичным признакам:

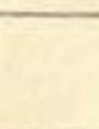
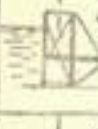
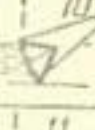
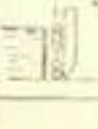
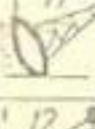
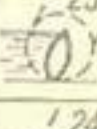
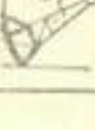
I. Затворы для пропуска расхода понизу				II. Затворы для пропуска расхода поверху							
Род движения				Род движения							
поступа- тельное	браща- тельное	перекаты- ваемое	комбини- рованное	поступа- тельное	б р а щ а т е л ь н о е					перекаты- ваемое	
плоские щиты одиночные	сегмен- ты	валицы	сегмен- ты щиты	плоские щиты сдвинутые	сегмен- ты	секторы	поплаб- ки	клапаны однопо- лотные	клапаны однопо- лотные	клапаны многопо- лотные	валицы
											
											
											
											
											
											

Рис. 3. Классификация затворов по работе водосливных
а—затворы механического действия с преимущественной работой принудительного действия,

1) назначению (какой гидравлический параметр автоматически поддерживается или регулируется);

2) принципу регулирования параметров потока (как это достигается);

3) конструктивными особенностями как всей конструкции, так и корректирующих элементов;

III. Затворы для пропуска расхода понизу при частичном пропуске расхода поверху					IV. Затворы для пропуска расхода понизу и поверху							
Род движения					Род движения							
поступательное	вращательное	перекачиваемое	комбинированное		поступательное	вращательное	перекачиваемое	комбинированное				
плоские щиты	сегменты	бальцы	сегменты щиты	прокидные щиты	плоские щиты с клапанами	сегменты с клапанами	бальцы с клапанами	бальцы складные	сегменты щиты	прокидные щиты		

отверстий плотин, по З. Ф. Ничипуренко [100]:

б—затворы гидравлического действия с преимущественной работой автоматического действия.

4) использованию вида энергии (гидравлической, гидравлико-электрической и т. д.);

5) использованию воздействия на подвижные части конструкции (гидростатического или гидродинамического действия);

6) принципу уравнивания силовых взаимодействий потока и затвора;

7) возможности изменения регулируемых гидравлических параметров на новую уставку и др.

Например, автоматические водорегулирующие устройства можно разделить по назначению:

1) для сброса катастрофических, паводковых расходов воды при достижении допустимого максимального горизонта верхнего бьефа;

2) для поддержания постоянного расхода воды в отводы;

3) для поддержания постоянного горизонта воды верхнего бьефа;

4) для поддержания постоянного горизонта воды нижнего бьефа;

5) для регулирования различных постоянных гидравлических параметров (напора верхнего или нижнего бьефа) при различных режимах потока (расходов воды), так называемые многорежимные дифференциальные затворы-автоматы.

Классификации автоматических устройств по принципу регулирования приводятся на схемах и рис. 2.

По конструктивным особенностям — корректирующим элементам:

1) с лекальными поверхностями подвеса груза-балансира (типа Финке, клапанные и т. д.);

2) с рычагами-корректорами (типа конструкций Бочкарева и др.);

3) с криволинейными путями вкатывания (типа конструкций Гебеля и др.);

4) с загрузкой воды и выпуском из камер-пространств поплавков, камер-давлений, имеющих в автоматах-регуляторах (типа конструкций Маковского и др.);

5) с загрузкой воды в профилированные камеры-загрузки и т. д.

По применению вида энергии:

1) использующие гидравлическую энергию (для автоматического регулирования) и электрическую энергию (для телемеханики — по ЛЭП или слаботочным линиям);

2) использующие только гидравлическую энергию для приведения в движение подвижных частей автомата при регулировании определенного параметра потока (затворы-автоматы и др.);

3) не использующие гидравлический вид энергии, но все же требующие перепадов горизонтов бьефов воды (модули расхода — типа Фута, тарированных отверстий, У-образных длинных водосливов, неподвижных сифонов и т. д.)¹.

По воздействию потока на конструкцию:

1) использующие для регулирования непосредственное воздействие потока на подвижные части конструкций;

2) использующие косвенное воздействие потока (через систему блоков, тросов, камер давления, сложных видов противовесов и т. д.).

По принципу уравнивания силовых параметров:

1) гидростатических сил взаимодействия (моментов) подвижных частей конструкции автомата и воды;

¹ Подразделенные на группы 2 и 3 автоматические водорегулирующие устройства можно классифицировать по-другому:

а) требующие больших перепадов горизонтов воды (работающие со свободным истечением воды из-под низа или по верху конструкции);

б) требующие малых перепадов горизонтов воды (работающие с затопленным истечением воды из-под низа или по верху конструкции).

2) гидродинамических сил взаимодействий (моментов) подвижных частей конструкций автомата и потока.

По возможности изменения регулируемых постоянных гидравлических параметров на новые уставки:

1) имеющие эту возможность (изменением моментов сил, нагрузок и т. д.);

2) не имеющие такой возможности и т. д.

Наибольшее признание и распространение получили классификации автоматических водорегулирующих устройств по назначению и принципу регулирования (признаки 1—2).

АВТОМАТЫ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ КАК СРЕДСТВА АВТОМАТИЧЕСКОГО УЧЕТА, РЕГУЛИРОВАНИЯ ВОДЫ И ЗАЩИТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ И ВОПРОС ОБ ИХ ВЫБОРЕ

Автоматические водорегулирующие устройства, применяемые на оросительных системах, должны обеспечивать хорошее, точное регулирование и распределение воды на оросительной сети соответственно плану водопользования для получения устойчивых высоких урожаев сельскохозяйственных культур (на гидроэнергетических системах — выполнение графика работы ГЭС). Для осуществления этого совокупность средств автоматики должна позволить:

1) автоматически регулировать и распределять воду путем подвода по сети необходимого расхода и количества ее в нужный момент, в каждый объект потребления воды;

2) определить расходы и сток воды;

3) защитить автоматически от повреждений, разрушений системы и сооружений, а также сократить потери воды вследствие случайных обстоятельств или неправильного маневрирования, сработки аппаратуры и т. д.

Вопрос выбора наивыгоднейшего и рационального типа автоматических водорегулирующих устройств связан с труднейшей задачей, имеющей в своем решении две стороны:

1) удовлетворение сложного комплекса требований к этим устройствам;

2) нахождение наиболее приемлемой конструкции из многочисленных видов и типов их.

В современных условиях различные отрасли водного хозяйства (особенно при комплексном решении вопроса) предъявляют все новые и новые требования к оборудованию гидротехнических сооружений. Следует отметить, что результаты опытов проектировки, эксплуатации средств автоматики (в виде автоматических регулирующих устройств) нередко слабо освещаются в литературе. Более того, эта задача усложняется тем, что большинство конструкций носят в настоящее время еще характер предложений без достаточных данных и обоснований, иностранная же литература часто публикуется лишь в целях рекламы; все это заставляет проектировщиков относиться к выбору типа оборудования гидротехнических сооружений с большой осторожностью.

Требования к выбору автоматических вододействующих конструкций можно разделить на три большие группы [23]:

I. Эксплуатационные.

II. Конструктивно-строительные (включая и расчетные).

III. Техничко-экономические.

К эксплуатационным и конструктивно-строительным требованиям для автоматических водорегулирующих устройств можно отнести:

1) соответствие конструкции как оборудования гидротехнических сооружений общим требованиям комплексной автоматизации и телемеханизации производственных процессов и выполнению плана водопользования на оросительных системах (или графика работы ГЭС на гидроэнергетических системах);

2) автоматическую работу в необходимом диапазоне;

3) быстроту действия и время перерегулирования (переходные процессы) достигаемые конструкцией во взаимосвязи, взаимозависимости с другими конструкциями и сооружениями при регулировании потока;

4) простоту конструкции;

5) надежность конструкции (включая их безопасность при работе);

6) отсутствие отрицательного влияния конструкции на пропускную способность отверстия сооружения;

7) допустимость осмотра и ремонта;

8) работу конструкции при наличии наносов в потоке и пропуск их;

9) пропуск плавающих тел или защиту конструкции от них;

10) точность, устойчивость и скорость регулирования для поддерживаемых параметров потока;

11) минимальные потери воды (утечки воды через уплотнения);

12) работу конструкции в сложных климатических условиях;

13) наличие расчетных данных (экспериментального и теоретического характера), также возможность полного расчета как конструкции в целом, так и корректирующих элементов конструкции;

14) увязку конструкции с типом гидротехнического сооружения и способом его возведения;

15) перекрывающую способность конструкции затвора и целесообразность габаритов устройств;

16) рациональное в гидравлическом отношении очертание (обшивки и уплотнений низа подвижной части) устройств;

17) жесткость, прочность конструкции, соответствие стандартным допускам;

18) несложность конструкции в изготовлении и монтаже, а также возможности их типизации (с наименьшим числом типов блоков и деталей), а также индустриализации изготовления, доставки и установки;

19) возможность изготовления конструкции из различных рациональных видов материалов;

20) долговечность конструкции;

21) минимальное воздействие на флютбет сбрасываемой воды и др.

Из эксплуатационных и конструктивно-строительных требований специальными являются [23]:

1) пропуск судов;

2) вопрос передачи затвором давления воды при слабом основании плотины;

3) требования ПВО;

4) эстетичность конструкции и пр.

К технико-экономическим относится требование достижения минимальных:

1) стоимости конструкции в целом¹;

2) стоимости составных элементов гидротехнического сооружения

¹ Если необходимо, включается стоимость оборудования телемеханики с ЛЭП или со слаботочными линиями, а также временных заграждений (при строительстве или ремонте).

(быков, флютбета, служебного моста, оборудования управления и т. д.), включая простоту их выполнения;

3) эксплуатационных расходов (экономия воды от точности регулирования, сокращение штатов, повышение производительности и культуры труда).

Принятая конструкция затвора-автомата должна по возможности удовлетворять перечисленному комплексу требований.

При выборе конструкции затворов-автоматов, наряду со стремлением удовлетворения эксплуатационных, конструктивно-строительных и технико-экономических требований к ним, большое значение приобретает сравнение затворов по технико-экономическим показателям. Сравнение затворов (как обычных, так и автоматических) обычно производят по следующим технико-экономическим показателям¹:

1) стоимость обслуживания затворов, подъемных механизмов, оборудования управления и т. д.;

2) расход металла и других материалов (железобетона, дерева и т. д.) на затвор, подъемный механизм и другие устройства;

3) общая стоимость оборудования (затворов, подъемных механизмов и других устройств);

4) стоимость оборудования на $1 \text{ м}^3/\text{сек}$ максимального расчетного расхода воды, протекающего через отверстие, перекрываемое затвором;

5) простота конструкции, типизация, возможность серийного заводского изготовления с легкой транспортабельностью и монтажом;

6) надежность, безотказность работы затвора;

7) точность регулирования горизонтов или расходов воды затвором, чувствительность работы затвора (что важно для автоматов) и т. д.

Основные технико-экономические показатели, связанные со стоимостями конструкций в целом и затратами на обслуживание, монтаж и т. д., определяются на основе составления смет для вариантов сравниваемых конструкций затворов в одинаковых условиях. При сравнении типа затворов, имеющих подъемные механизмы и принудительный привод с затворами автоматического действия, особый интерес представляет первый показатель (при равноценности других показателей). При сравнении же самих конструкций затворов-автоматов важны показатели 3, 5, 6, 7 (при других равных показателях).

Для примера в таблице, составленной по материалам Гидророздела МСХ СССР [128], приведены сметные стоимости и расход материалов на изготовление двух сравниваемых типов затворов: не автоматов и затворов-автоматов гидравлического действия (четырёх конструкций). Затворы сравнивались на пропуск одинакового расхода воды $14,5 \text{ м}^3/\text{сек}$ с постоянным напором в верхнем бьефе 2—2,5 м, при ширине пролета отверстия 3,0 м. Из таблицы видно, что самым экономичным является затвор-автомат конструкции М. Ф. Финке, который более чем в 2 раза дешевле типовых плоских (колесных или скользящих) затворов вместе с их подъемными механизмами; самый дорогой — клапанный затвор-автомат с «колесом моментов». Стоимость затворов-автоматов конструкции М. Ф. Финке, Я. В. Бочкарева и типа французской фирмы «Нейрпик» меньше или приблизительно близка стоимости типовых плоских затворов с подъемными механизмами. Поэтому эти три конструкции затворов-автоматов могут быть рекомендованы для типового проектирования и применения на оросительных системах [33, 43, 128—130].

¹ При сравнении затворов по этим показателям необходимы равноценные гидравлические условия (например, по напору, расходу воды, ширине отверстия и т. д.).

Наименование	Расход, м³/сек	Размер отверстий В.н, м²	Напор Н, м	Вес, кг						Стоимость, руб.							общая	оборудованная на 1 м³/сек расхода
				металлических конструкций зат- вора	закладных частей	подъемного меха- низма	железобетонных конструкций за- твора	железобетонного противовеса	металлоконструк- ций затвора	закладных частей	подъемного меха- низма	железобетон- ных конструкций затвора	железобетонного противовеса					
Типовой плоский затвор скользящий 26ПС с подъемником 7В колесный 5ПК-с подъемником 5В	14,5	3,0-2,0	2,0	469,8	410,7	254,2	—	—	132,10	89,93	319,41	—	—	541,44	37,35			
	14,5	3,0-2,0	2,0	680,0	497,0	145,0	—	—	227,90	115,60	184,30	—	—	527,20	36,35			
Автоматический затвор конструкции М. Ф. Финке клапанный с коле- сом моментов* системы «Нейр- пик» конструкции Я. В. Бочарева	14,5	3,0-1,25	2,5	213,3	202,5	—	1350,0	4400,0	59,98	44,34	—	42,06	81,27	227,65	15,70			
	14,5	3,0-2,0	2,0	3430,0	1500,0	—	—	4000,0	1089,42	399,73	—	—	74,16	1563,31	107,90			
	14,5	3,0-2,0	2,0	1000,0	416,0	—	—	1165,0	317,61	110,86	—	—	51,73	480,21	33,10			
	14,5	3,0-2,0	2,0	1404,0	600,0	—	—	—	445,93	162,56	—	—	—	608,49	41,95			

П р и м е ч а н и я. 1. Сметная стоимость конструкций, включая монтаж, определена по ценнику № 1, части II, IV и ЕРЕР. 2. Стои-
мости расходов металлических конструкций приведены с учетом 10% накладных расходов, а железобетонных конструкций — с учетом 13%
накладных расходов. 3. Стоимости плоских затворов взяты из типовых проектов моделей ПК-55 «Средиземноморского».

Таким образом, вопрос о выборе автоматического затвора, как и вообще затворов, связан:

- а) с удовлетворением комплекса требований к затворам;
- б) с нахождением наиболее приемлемой конструкции затвора из многочисленных видов и типов их;
- в) с определением технико-экономических показателей различных конструкций затворов (при их сравнении в равноценных условиях) и возможностью получения конструкции затвора с наилучшими показателями.

Для современных оросительных систем необходимы еще более совершенные средства автоматики с максимальным диапазоном автоматической работы, безотказной надежностью и т. д., т. е. соответствующие основным требованиям, изложенным выше. Средства автоматики в виде автоматических водорегулирующих устройств должны осуществлять регулирование и учет расхода, стока воды, а также защищать сооружения и сеть от разрушений, переполнений и т. д. и по возможности совмещать все эти функции.

Внедрению средств автоматики (устройства и затворы) на оросительных системах препятствуют:

- 1) необходимость перепадов горизонтов воды, которые для большинства конструкций достигают значительных величин, что ведет к потере командования над площадями орошения, особенно в равнинных частях местности;
- 2) неподготовленность оросительной сети для армирования ее сооружениями с автоматами;
- 3) ограниченность условий применения или отсутствие полного автоматизма в определенном диапазоне и большой надежности в работе;
- 4) отсутствие достаточных данных и теоретических разработок по конструкциям, силовым параметрам, водомерности и условиям применения этих средств;
- 5) недостаточная разработанность конструкции в целом;
- 6) сложность и непрактичность отдельных частей и их механизмов;
- 7) недостаточная проработка вопроса по расположению и сочетанию средств автоматики на сети (использующих гидравлическую энергию, а, возможно, и электрическую) во взаимосвязи и взаимозависимости.

Необходимы дальнейшая разработка и внедрение новых конструкций сети (лотковой, по трубопроводам и т. д.) с наличием напора, уменьшением потерь воды из нее, простотой эксплуатации, а также реконструкция существующей сети, которые соответствуют условиям применения автоматов.

Для широкого применения средств автоматики (на гидравлической энергии) приобретает особо важное значение как удовлетворение, в первую очередь, эксплуатационных и конструктивно-строительных требований, так и выполнение требования экономичности конструкций. При этом в данное время настоятельно требуется разработка не только технических условий и норм проектирования конструкций автоматических водорегулирующих устройств, но и технических условий по их применению, анализу этих средств, их размещению в зависимости от конструкции оросительной сети.

ВЫВОДЫ

1. Средства автоматики в виде водорегулирующих устройств прошли длинный путь развития — от простейших видов до современных,

которые в настоящее время получили применение на энергетических и оросительных системах.

2. Наиболее распространены в ирригации классификации автоматических водорегулирующих устройств по назначению и принципу регулирования.

3. На современных оросительных системах автоматические водорегулирующие устройства должны по возможности совмещать выполнение функций:

- а) регулирования воды;
- б) учета воды;
- в) защиты сооружений от разрушений.

4. Следует отметить, что хотя известны сотни предложенных конструкций, распространение получили только некоторые — это объясняется рядом причин, препятствующих их внедрению на оросительных системах.

5. Выбор рационального типа автоматического водорегулирующего устройства представляет трудную задачу, с одной стороны, из-за сложного комплекса требований, предъявляемых к современным конструкциям, с другой — из-за многочисленности видов самих конструкций (хотя большинство из них носит характер предложений).

6. Сравнение сметных стоимостей двух групп затворов: не автоматов (с принудительным приводом) и автоматов гидравлического действия в равноценных условиях по их сметным стоимостям показывает, что стоимость автоматов (например, горизонта верхнего бьефа, использующих непосредственное воздействие потока на затвор, конструкции М. Ф. Финке, Нейрпик, Я. В. Бочкарева и др.) меньше или близка стоимости типовых плоских затворов с подъемниками. Как это сравнение, так и сравнение по другим требованиям, показателям позволяет рекомендовать такие затворы-автоматы к типовому их проектированию и широкому внедрению на оросительных и гидроэнергетических системах¹.

ЛИТЕРАТУРА

1. Авлянова К. А. Управление водораспределением на крупных магистральных каналах при помощи средств автоматики и телемеханики, вып. 88, Труды САНИИРИ, Ташкент, 1957.
2. Автоматические устройства для подачи и распределения оросительной воды, «Вопросы гидротехники», Будапешт, 1960, № 8.
3. Автоматический затвор, Патент № 2207479 Американского бюро патентов, Перевод № 13 «а» Гипроводхоза МСХ, СССР, М., 1960.
4. Askermann H. Aus der Entwicklung der beweglichen Wehrverschlüsse, Zürich, Verlag Mensch und Arbeit, 1950 (К развитию затворов плотин, в частности, вододействующих, автоматических)
5. Акулов К. А., Калинович Б. Ю. Краткие сведения о различных типах разборчатых плотин, М., 1913.
6. Алексин Д. К. Устройство для автоматического регулирования уровня воды, Авторск. свид. № 79158 (заявка от 31 июля 1950 г.).
7. Алексин Д. К. Автоматический водомер для гидротехнических сооружений, Авторск. свид. № 89326 (заявка от 27 августа 1949 г.).
8. Алиев Н. А. Водовыпуск, Авторск. свид. № 128370 (заявка от 5 сентября 1959 г.), Бюлл. изобрет., 1960, № 9.
9. Альтерман Д. З. «Гидротехническое строительство», 1948, № 11.
10. Амбарцумян Г. А. Автоматические водомеры водовыпуски-регуляторы Арм-

¹ Некоторые автоматы косвенного воздействия (например, автоматические клапанные затворы «с колесом моментов») по сметной стоимости в несколько раз дороже типовых плоских затворов с подъемниками. Поэтому такие автоматы нежелательно рекомендовать как типовые, хотя, отвечая ряду основных требований, они получили индивидуальное применение на некоторых гидротехнических сооружениях ГЭС.

НИИГиМ, Изд. Глав. упр. сельхоз. наук МСХ АрмССР, Ереван, 1957.

11. Амбарцумян Г. А., Кашикеманян А. К. Щитовой водовыпуск-регулятор, Авторск. свид. № 106034 (заявка от 14 ноября 1954 г.), Бюлл. изобрет., 1957, № 4.
12. Амбарцумян Г. А., Нуридджанян Н. А. «Гидротехника и мелиорация», 1953, № 12; Водовыпуск постоянного расхода, Авторск. свид. № 98203 (заявка от 24 марта 1953 г.), Бюлл. изобрет., 1954, № 6.
13. Амиров И. Самодействующий поворотный щит для плотин, Привилегия № 29198, заявл. 4 июля 1915 г. (Охран. свид. № 67100).
14. Анисимов Н. И. Новейшие конструкции затворов гидроэнергетических силовых установок, М., Гостехиздат, 1930.
15. Анисимов Н. И. «Водоподъемные плотины» М., Трансиздат, 1931.
16. Анисимов Н. И. Водосливы и водовыпуски, М., Трансиздат, 1935.
17. Андреев В. А. «Гидротехника и мелиорация», 1959, № 8.
18. Аннотации законченных в 1958 г. научно-исследовательских работ по гидротехнике, М.—Л., Госэнергоиздат, 1959.
19. Аннотации законченных в 1959 г. научно-исследовательских работ по гидротехнике, М.—Л., Госэнергоиздат, 1960.
20. Артамонов К. Ф. «Изв. АН КиргССР», серия естеств. и техн. наук, 1961, т. 3, вып. 6.
21. Березинский А. Р. Затворы гидротехнических сооружений СССР, (Атласы чертежей) М., Гострансиздат, 1936.
22. Березинский А. Р. Современные конструкции затворов плотин и шлюзов в Германии, М.—Л., Стройиздат, 1947.
23. Березинский А. Р. Верхнее строение плотин, М., Стройиздат, 1949.
24. Бернар Жиррет (Bernard Girette). Усовершенствование автоматических затворов, Перевод № 4,а" ин-та Гипроводхоз МСХ СССР, М., 1960; Regulators for irrigation system, Перевод ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, М., 1956.
25. Берникер А. О. Откидной вращающийся щитовой затвор для гидротехнических сооружений, Патент на изобрет. № 18291 (заявка от 4 марта 1929 г.).
26. Biggest radial gates works automatically, Engineering New-Record, 1950, vol. 145, No 11 (Автоматическая работа крупных сегментных затворов).
27. Бернулли Д. Гидродинамика или записки о силах и движениях жидкостей, М., АН СССР, 1959.
28. Близняк Е. В., Гришин М. М. Гидротехнические сооружения, т. 1, М., 1938.
29. Бозиль В., Дезгиго А. А. Орошение и гидроэнергетика равнины Тагла в Марокко, Перевод ин-та Гипроводхоз МСХ СССР из журнала «Travaux» (1955 г., № 238, февраль), М., 1956.
30. Бочкарев Я. В. Клапанные затворы-автоматы для поддержания постоянного горизонта воды в верхнем бьефе гидротехнических сооружений, Труды Киргиз. СХИ, Фрунзе, 1958, вып. 10; Вододействующий клапанный затвор-автомат для поддержания постоянного горизонта воды в верхнем бьефе гидротехнических сооружений, Авторск. свид. № 110691 (заявка от 18 декабря 1956 г.), Бюлл. изобрет., 1958, № 4.
31. Бочкарев Я. В. Разработка и исследование вододействующих затворов-автоматов постоянного расхода воды, Труды САНИИРИ, Ташкент, 1959, вып. 104; Вододействующий затвор-автомат для ирригационных каналов с отводами, Авторск. свид. № 118764 (заявка от 2 января 1958 г.), Бюлл. изобрет., 1959, № 6.
32. Бочкарев Я. В. Исследования и расчет клапанных вододействующих затворов-автоматов для поддержания постоянного горизонта воды в верхнем бьефе гидротехнических сооружений, вып. 104, Труды САНИИРИ, Ташкент, 1959.
33. Бочкарев Я. В. Гидротехнические затворы-автоматы для каналов предгорных зон, Автореферат канд. диссерт., Ташкент, 1960.
34. Бредис А. И. Водомер постоянного расхода, Опытн.-мелиоративный вестник, Л., 1928, вып. 1, т. 1.
35. Будтолаев Н. М. Вододействующий затвор клапанного типа для одностороннего пропуска приливно-отливных течений в открытых руслах, Авторск. свид. № 138881 (заявка от 5 ноября 1960 г.), Бюлл. изобрет., 1961, № 11.
36. Бутырин М. В. Водомеры для колхозной и межхозяйственной ирригационной сети, Труды САНИИРИ, вып. 60, Ташкент, Узгосиздат, 1941.
37. Бутырин М. В. Внутрихозяйственный пружинный автомат постоянного расхода воды ПАР, «Вопросы гидротехники», вып. 4, Ташкент, АН УзССР, 1962.
38. Бутырин М. В. Механизация и автоматизация учета воды на оросительных

- системах, Механизация гидромелиоративных работ и использование пластмасс в гидромелиоративном строительстве (Материалы Международного научно-методического совещания), М., ВНИИГиМ, 1962.
39. Б у т ы х о в И. А. Поплавковый прибор с водосливным отверстием для пропуска установленного расхода независимо от изменений напора, Патент на изобрет. № 17118 (заявка от 19 сентября 1927 г.).
 40. Buzzell D. A. Recent trends in hydraulic gate design, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1954, October, vol. 80, Separate No 517 (Современные тенденции в проектировании затворов гидросооружений, в том числе автоматических).
 41. Видинеев Ю. В. Дозатор непрерывного действия для жидкостей, Авторск. свид. № 104511 (заявка от 22 декабря 1952 г.).
 42. Hartung F. Eindrücke aus dem amerikanischen Stahlwasserbau, Bauingenier, 1952, Bd. 27, No 6 (Впечатления об автоматических затворах, применяемых в США).
 43. Гартунг А. А. Лабораторные исследования моделей гидравлических автоматов верхнего бьефа типа фирмы «Нейрпик», «Вопросы гидротехники», вып. 3, Ташкент, АН УзССР, 1961.
 44. Гартунг А. А. Сегментный автомат верхнего бьефа с поплавком в боковом колодце, «Вопросы гидротехники», вып. 4, Ташкент, АН УзССР, 1962.
 45. Гебель В. Г. Затворы гидротехнических сооружений, Л., 1928.
 46. Гебель В. Г. «Известия ВНИИГ», 1936, т. 19.
 47. Герстенберг-Цеха Л. (v. on Gerstenberg-Zescha L.), иностр., Германия, «Приспособление для регулирования количества воды, вытекающей из напорных резервуаров с переменным уровнем», Привилегия № 19872, заявл. от 2 ноября 1909 г.
 48. Гиринский Н. К. «Гидротехническое строительство», 1935, № 2.
 49. Гладких В. Я. К вопросу конструирования деревянных мелких водовыпускных автоматов, вып. 1, Труды ЮжНИИГиМ, 1936.
 50. Гладков В. К. Устройство для регулирования расхода воды, Авторск. свид. № 140374 (заявка от 21 декабря 1960 г.), Бюлл. изобрет., 1961, № 18.
 51. Гнатуш А. М. «Гидротехническое строительство», 1935, № 12.
 52. Гобри М. Оросительные системы Франции, «Вопросы гидротехники», Будапешт, 1960, № 3, (Перевод с венгерск. языка ин-том Узгипроводхоз, Ташкент, 1960).
 53. Гришин М. М. Гидротехнические сооружения, ч. I, II, М. — Л., Стройиздат, 1956.
 54. Грубинский Ф. Самодействующая плотина с вращающимся щитом, Привилегия № 12322, заявл. от 29 марта 1903 г. (Охран свид. № 20395).
 55. Губин Ф. Ф. Современное гидроэлектростроительство США, М. — Л., ОНТИ — Госэнергоиздат, 1934.
 56. Гулямов Я. Г. История орошения Хорезма с древнейших времен до наших дней, Ташкент, АН УзССР, 1957.
 57. Гункнехт А. Автоматический сегментный затвор, Перевод из немецк. журн. „Der Bauingenier“, 30 (1955), Heft 2.
 58. Даниленко В. П. Автоматический вододействующий затвор для поддержания постоянного горизонта воды верхнего бьефа на малых водопадах, Тезисы XVII научно-технич. конференции профессорско-преподавательского состава ТИИИМСХ, Ташкент, 1958.
 59. Дворкин А. Б. Водомер-регулятор для оросительных каналов, Авторск. свид. № 129358 (заявка от 29 октября 1959 г.), Бюлл. изобрет., 1960, № 12.
 60. Джайчибаев Д. Водозаборное сооружение, Авторск. свид. № 129995 (заявка от 18 мая 1959 г.), Бюлл. изобрет., 1960, № 13.
 61. Дзевенцкий Г. Я. Автоматизация ирригационных систем Узбекистана и методы определения ее экономической эффективности, Ташкент, 1961.
 62. Diviš J. Automatická vodoměrův zařízení, Vodní hospodářství, Praha — Srpen, 1958, No 8 (Автоматические устройства для измерения расхода воды на оросительных системах).
 63. Дильс Г. Античная техника, М., ОНТИ, 1934.
 64. Доманский Б. И. Введение в автоматику и телемеханику, М. — Л., Госэнергоиздат, 1959.
 65. Домбровский Г. Ф. Устройство для автоматического регулирования расхода воды в оросительных каналах, Авторск. свид. № 91822 (заявка от 18 ноября 1949 г.).
 66. Донис К. И. Описание подъемно-опускного затвора с автоматическим регулированием расхода воды через водопропускное отверстие, сообразно уровню в водоприемнике, Авторск. свид. № 21825 (заявка от 9 апреля 1930 г.).

67. Jermář František. Jezy hydrostatické a jezy automatické S. Vyvážení, SNT, Praha, 1956 (Вододействующие и автоматические затворы гидросооружений, Прага, 1956).
68. Jermář František. Jezy stavby a konstrukce, Nakladatelství ČSAV, Praha, 1959 (Затворы плотин, компоновка и конструкции, Прага, 1959).
69. Журин В. Д. Мелкие водовыпуски, «Вестник ирригации», Ташкент, 1924, №№ 8, 9.
70. Замарин Е. А., Фандеев В. В. Гидротехнические сооружения, М.—Л., Сельхозгиз, 1954.
71. Ирригационные системы в Алжире, запроектированные для сохранения воды и труда, Журн. „Civil Engineering“, март, 1956 (Перевод с англ. яз. ТИИИМСХ, Ташкент, 1956).
72. Каверин Л. Прибор для автоматического регулирования расхода жидкости, Привилегия № 20637, заявл. от 14 апреля 1910 г. (Охран. свид. № 43373).
73. Каграманов А. М. Водомер-автомат с вращающимся щитом, Труды САНИИРИ, вып. 56, Ташкент, 1941.
74. Канунников В. «Гидротехническое строительство», 1938, № 3; Плотина гидравлического действия, Патент на изобрет. № 40900 (заявка от 25 июня 1932 г.).
75. Карпман Б. Д. Самодействующий поворотный щит для плотин, Патент на изобрет. № 9197 (заявка от 25 ноября 1927 г.).
76. Кечек К. «Гидротехническое строительство», 1934, № 9.
77. Козлов Г. А. Курс внутренних водных путей, ч. II, Л., 1934.
78. Колпычев В. Влияние условий службы разборчатой плотины на определение наивыгоднейшего ее типа, М., 1914.
79. Кригер В. П., Джастин Д. Д. Гидроэнергетический справочник, т. I, М.—Л., Госэнергоиздат, 1934, 1960.
80. Кулька Г. Металлические затворы плотин, М.—Л., ОНТИ—Госстройиздат, 1934.
81. Курносов В. Н. Сифонный водовыпуск для оросительных систем, Авторск. свид. № 51878 (заявка от 20 ноября 1936 г.).
82. Линев Л. Ф. Выбор конфигурации затворов типа Дахвер, М.—Л., Госстройиздат, 1933.
83. Лубны-Герцик К. И. Регулятор расхода для оросительных систем, Авторск. свид. № 55221 (заявка от 2 июня 1937 г.).
84. Маковский Э. Э. Автоматический вододействующий затвор, Труды института водного хозяйства и энергетики, вып. 4 (VII), Фрунзе, АН КиргССР, 1957.
85. Мамышев Т. И. Автоматическое гидродействующее устройство управления сегментными затворами, Сборник рационализаторских предложений МВХ УзССР и УзРСОИ и Р, Ташкент, 1960.
86. Материалы III Конгресса по ирригации и дренажу 1957 г. в гор. Сан-Франциско:
 - а. Буйо Р., Комбе Ж., Маркс П. Регулирование расхода воды в ирригационных каналах нижним бьефом соответствующих сооружений, вопр. 9, докл. 23.
 - б. Джоглекар Д. В., Франсалкар С. Д. Гидротехнические сооружения для измерения воды на ирригационных и дренажных системах, вопр. 9, докл. 19.
 - в. Дюма Л. Гидротехнические сооружения на оросительных системах. Возможность регулирования расхода в нижнем бьефе открытых каналов, вопр. 9, докл. 16.
 - г. Комбе Ж., Деффорей С., Маркс П. Некоторые оригинальные сооружения для оросительных систем, вопр. 9, докл. 13.
 - д. Муштак Ахмад, Миан Музаффар, Аван С. А. Автоматический регулятор для получения постоянного расхода в канале с большим колебанием питания, вопр. 9, докл. 5.
 - е. Пьер Жиродэ. Опыт определения и классификации задач по регулированию в открытых каналах оросительной сети, вопр. 9, докл. 15.
 - ж. Чоудри Абдул Хамид. Распределение и измерение расходов оросительной воды в Западном Пакистане, вопр. 9, докл. 18.
 - з. Эльмадани М. Саморегулирующийся водослив, вопр. 9, докл. 2.
87. МВХ РСФСР, Гипроводхоз, Краснодарский филиал, Типовой проект: «Трубчатые водовыпуски на рисовых оросительных системах с автоматическими затворами инж. Разоренова», Краснодар, 1956.
88. Мейссонье Ж. Л. А. (Meyssonier J. L. A.), иностр., Франция, Прибор для автоматического открывания и закрывания выпускных отверстий в

- резервуарах с жилкостью, снабженных водосливами*, Привилегия № 9404, заявл. 6 апреля 1901 г.
89. Меклер Г. Ш. Автоматически регулирующее поплавковое устройство для вододействующих затворов гидротехнических сооружений, Патент на изобрет. № 6797 (заявка от 1 декабря 1926 г.).
 90. Меркурьев И. С. Разработка конструкции и методика гидравлического расчета трубчатого автоматического регулятора, Автореферат канд. диссерт., М., 1957.; Автоматический регулятор-водоизмеритель, Авторск. свид. № 104391 (заявка от 5 января 1956 г.).
 91. Металлические затворы гидротехнических сооружений, Технические условия и нормы проектирования, М., Стандартгиз, 1935.
 92. Микаелян В. Г. Улучшенная конструкция автомата-регулятора расхода воды системы АрмНИИГиМ, Труды АрмНИИГиМ, т. IV, Ереван, 1959.
 93. Мисенев В. С. «Гидротехника и мелиорация», 1957, № 7.
 94. Мозговой Г. В. Автоматический сифонный водоподъемник, Труды УкрНИИГиМ, вып. 75/1, 1952; Водослив-водомер, Авторск. свид. № 98581 (заявка от 19 сентября 1953 г.), Бюлл. изобрет., 1954, № 7.
 95. Комплексная автоматизация магистрального канала Гардабанской оросительной системы, Проектное задание, кн. 2, М., МСХ СССР, Гипроводхоз, 1957.
 96. Муромов В. С. Водослив-регулятор расхода воды, Авторск. свид. № 50086 (заявка от 14 сентября 1935 г.).
 97. Налимов С. М. Вальцово-сегментные затворы гидротехнических сооружений и их основные свойства, Автореферат канд. диссерт., Л., 1953.
 98. New tipe radial crest gate maintains constant water lewel, Engineering New-Record, 1950, vol. 145, No 6, p. 35 (Новый тип сегментного затвора на гребне плотины для поддержания постоянного уровня).
 99. Ничипуренко З. Ф. Устройство для управления вододействующими затворами с камерой давления, М.—Л., Госстройиздат, 1934.
 100. Ничипуренко З. Ф. К вопросу о выборе типа затворов, временных преграждений и служебных мостов для водосливных отверстий плотин. Изв. ВНИИГ, 1941, т. 30.
 101. Никитина Ф. А. Расчет щитов-автоматов горизонта верхнего бьефа системы Финке, Труды САНИИРИ, вып. 106, Ташкент, 1960.
 102. Новый автоматический регулятор расхода для каналов, Перевод из журн. „Water and water engineering“, июнь, 1956 г.
 103. Овчаров Е. Е. «Доклады ТСХА», вып. 56, М., 1960.
 104. Оснащение ирригационных каналов. Механическое оборудование, выпускаемое французской фирмой «Нейрпик», Перевод ин-та Узгипроводхоз с англ. яз., Ташкент, 1959.
 105. Островский А. И. Конспект лекций по курсу, «Гидротехнические сооружения», для заочных гидромелиоративных факультетов, часть I, § 39, Ташкент, 1961.
 106. Пататон М. Системы ирригации Марокко, Бюллетень Международной комиссии по ирригации и дренажу, 1955, Перевод ин-та Узгипроводхоз с франц. яз., Ташкент, 1957.
 107. Пеплов Э. Э. «Гидротехника и мелиорация», 1958, № 9.
 108. Пеплов Э. Э. Сегментный затвор для автоматического регулирования горизонта воды верхнего бьефа гидротехнических сооружений, Авторск. свид. № 132131 (заявка от 28 января 1960 г.), Бюлл. изобрет., 1960, № 18.
 109. Пикалов Ф. И. Устройство для регулирования и поддержания постоянного расхода воды протекающей в оросительных каналах, Авторск. свид. № 93089 (заявка от 12 октября 1950 г.).
 110. Подарев В. В. Германские гидросооружения (Атлас и текст), М., 1930.
 111. Покорный Ф. (P o k o r n ý F.), иностр., Австрия, „Автоматические плотины“, Привилегия № 13198, заявл. 20 апреля 1904 г. (Охран. свид. № 23792).
 112. Понсар И. Устройство для автоматического регулирования уровня жидкости, Перевод № 14 «а» Гипроводхоза МСХ СССР, М., 1960.
 113. Потанин Я. К. Самодействующий вертикально-поворотный затвор для водопропускных отверстий гидротехнических сооружений, Авторск. свид. № 24775 (заявка от 23 февраля 1930 г.).
 114. Потапов В. М. «Доклады ТСХА», вып. 67, М., 1961.
 115. Разоренов А. Д. Регулирующий затвор для оросительной сети, Авторск. свид. № 96820 (заявка от 12 апреля 1951 г.), Бюлл. изобрет., 1954, № 1.
 116. Разоренов А. Д. Автоматический затвор для гидротехнических сооружений, Авторск. свид. № 97522 (заявка от 20 августа 1953 г.), Бюлл. изобрет., 1954, № 3.
 117. Ransford G. Automatic control of irrigation sistem, Indian construction News,

1952, December, vol. 1, No 7 (Автоматическое регулирование ирригационных систем).

118. Ридигер В. Р. Регулятор расхода воды в водосливе, Авторск. свид. № 21864 (заявка от 16 ноября 1930 г.).
119. Ризенкамф Г. К., Гебель В. Г. Вращающийся на горизонтальной оси двуплечный щитовой водоподдерживающий затвор, Патент на изобрет. № 6484 (заявка от 17 ноября 1926 г.).
120. Рузский Д. П., Модуль Кеннеди (водомер для ирригационных систем), Труды, научно-мелиорационного ин-та, Л., 1926.
121. Рузский Д. П. Водомеры с возрастающими сопротивлениями, Модуль Джибба, Труды Научно-мелиорационного ин-та, Л., 1926.
122. Сидоров А. Аппарат для автоматического и периодического выпуска воды из малых резервуаров, Привилегия № 24497, заявл. 25 июня 1911 г. (Охран. свид. № 48633).
123. Скотницкий В. Б., Островский А. Ф. Механизм для быстрого подъема самодействующих щитов, Привилегия № 6863, заявл. от 15 февраля 1900 г.; Самодействующая плотина с вращающимися щитами, Привилегия № 9505, заявл. 24 мая 1901 г. и № 9506, заявл. 1 августа 1902 г., а также дополнение к Привилегии № 11775, заявл. 3 марта 1903 г. (Охран. свид. № 20076).
124. Соколов А. И. Переносный сифон-водовыпуск с регулированием расхода воды, Авторск. свид. № 105975 (заявка от 11 июня 1956 г.).
125. Справочник по гидротехнике (НИИ ВОДГЕО), М., Госстройиздат, 1955.
126. Тарановский С. В., Цветков А. П., Попов Г. Д., Дмитриевский С. М. Секторные затворы, М.—Л., ОНТИ—Госстройиздат, 1937.
127. Тарановский С. В. Вододействующие металлические затворы плотин, М., Стройиздат, 1947.
128. Типовые проекты затворов автоматического действия для сбросных сооружений на расход до 25 м³/сек, МСХ СССР, Гипроводхоз, М., 1958.
129. Типовые проекты автоматических вододействующих затворов. Сегментные затворы с поплавком на обшивке, регулирующие горизонт воды верхнего бьефа, для параболических лотков Н-0,60—0,80—1,00—1,20 м, Альбом СПА-61, МСХ СССР, Средазгипроводхоз, Ташкент, 1961.
130. Финке М. Ф. «Гидротехника и мелиорация», 1956, № 3; «Вододействующий затвор», Авторск. свид. № 133815 (заявка от 3 апреля 1960 г.), Бюлл. изобрет., 1960, № 21.
131. Филлипов Н. О. Гидравлический регулятор-автомат для трубчатых сопрягающих сооружений, Авторск. свид. № 118765 (заявка от 20 января 1958 г.), Бюлл. изобрет., 1959, № 6.
132. Хамадов И. Б. Автоматический затвор гидравлического действия для малых перепадов, Авторск. свид. № 132992 (заявка от 31 марта 1960 г.), Бюлл. изобрет., 1960, № 20.
133. Храмой А. В. Об истоках автоматики, Вестник АН СССР, 1946.
134. Храмой А. В. Очерк истории развития автоматики в СССР (дооктябрьский период), М., АН СССР, 1956.
135. Хуторянский М. Н. Водомер-регулятор для ирригационных каналов, Авторск. свид. № 117566 (заявка от 18 января 1956 г.).
136. Чесноков В. С. «Гидротехническое строительство», 1946, № 10.
137. Чиж И. Б. Поплавковый автомат, Авторск. свид. № 120926 (заявка от 29 января 1958 г.), Бюлл. изобрет., 1959, № 15.
138. Шаумян В. А. Научные основы орошения и оросительных сооружений, М., Сельхозгиз, 1948.
139. Штауверке А. Г. (Stauwerke A. G.). Самодействующий поворотный щит для плотин, Привилегия № 18989 иностр. Акционерного общества „Запруды“, Цюрих, Швейцария, заявл. 24 сентября 1909 г. (Охран. свид. № 40869); Поворотная плотина, автоматически регулирующая верхний уровень воды, Привилегия № 19708 иностр. Акционерного об-ва „Подпорные Запруды“, Цюрих, Швейцария, заявл. от 3 ноября 1909 г. (Охран. свид. № 41316).
140. Шубладзе К. К. «Гидротехника и мелиорация», 1955, № 6.
141. Юмашев О. Л., Гладков В. К. «Доклады ТСХА», вып. 67, М., 1961.
142. Ярцев В. Н. Эксплуатационная гидрометрия, М., Сельхозгиз, 1956.

М. П. САЛЬНИКОВ

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ВОДОМЕРА С СЕГМЕНТНОЙ ДИАФРАГМОЙ ДЛЯ МЕЛИОРАТИВНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

В гидрометрической лаборатории ИВПиГ разработан водомер переменного перепада давления с суживающим устройством для работы на мелиоративной насосной станции.

Характеристика воды, необходимая точность измерения расхода оросительной воды, особенность расположения сегментной диафрагмы и допустимые потери давления в сужающем устройстве отличают методику расчета такого водомера от рекомендуемой в литературе.

ОПИСАНИЕ СХЕМЫ ВОДОМЕРА

Водомер (рис. 1) предназначен для работы на мелиоративной насосной станции (МНС) и состоит из сужающего устройства в виде сегментной диафрагмы, соединительных линий с запорными вентилями, отстойных сосудов специальной конструкции и измерительного прибора — дифманометра-расходомера.

Сужающее устройство водомера отличается от обычного расположением диафрагмы и отверстий для отбора давлений.

Сегментную диафрагму обычно располагают в трубопроводе так, чтобы проход для потока был снизу, а отверстия для отбора давлений — в потолке трубы непосредственно у плоскостей диафрагмы. Такое расположение отверстий допускает попадание в них воздуха в период запуска насосной станции, начального заполнения трубопровода, при засасывании воздуха из атмосферы или при выделении его из перекачиваемой воды.

Скапливание воздуха в соединительных линиях водомера будет вносить дополнительную погрешность в измерение расхода воды, что недопустимо. С целью устранения этого недостатка сегментную диафрагму мы расположили сбоку, а отверстия для отбора давлений — в плоскости горизонтального диаметра трубопровода (рис. 2).

Для создания свободного прохода загрязнений и воздуха отношение высоты сегментного отверстия a к диаметру D должно быть выдержано в пределах

$$a/D \geq 0,55 \div 0,60.$$

Диафрагму изготовляют из листовой стали согласно расчету. Отбор давлений производят в двух точках — непосредственно перед диафрагмой и за ней.

Отстойные сосуды представляют собой отрезки трубы диаметром 120–150 мм и длиной 250–300 мм. Внутри каждого сосуда поме-

щена сетка, имеющая вид цилиндра, диаметр которого составляет 0,70 диаметра отстойного сосуда. Отстойные сосуды такой конструкции предотвращают попадание загрязнений в дифманометр и одновременно устраняют возможность скапливания выделяющегося из воды воздуха как в самих сосудах, так и в линиях, соединяющих сосуды с дифманометром.

В водомере (рис. 1) трубка 2 и запорные вентили 3 служат для заполнения системы чистой (осветленной) водой перед включением водомера в работу. Во время эксплуатации водомера периодически промывают отстойные сосуды и соединительные линии с помощью вентиля 4.

Соединительные линии водомера выполняются из медных, латунных или стальных трубок диаметром 15–20 мм с прокладкой их вертикально или с уклоном примерно 1:10. Трубки должны быть прямолинейными, а изгибы — плавными. Во всех случаях в соединительных линиях не должны образовываться воздушные мешки. Соединительные линии и арматура на них должны быть герметичными, защищенными от замерзания и нагрева и иметь длину не более 50–70 м.

В особых случаях (если вода очень сильно загрязнена) для возможности прочистки в местах поворотов соединительных линий следует устанавливать крестовины.

Описанная схема может быть использована в том случае, когда дифманометр расположен ниже сужающего устройства. Однако дифманометр может быть расположен и выше сужающего устройства. Схема соединительных линий для общего случая (т. е. когда дифманометр располагается выше или ниже сужающего устройства) показана на рис. 3.

В самых высоких точках соединительных линий устанавливают воздухоборники с продувочными вентилями, а в самых низких — отстойные сосуды.

Трубка от сужающего устройства опущена в отстойный сосуд на $\frac{2}{3}$ его высоты.

Перед включением водомера в работу систему заполняют чистой водой через продувочные вентили воздухоборников.

Во время эксплуатации водомера производят периодическую промывку отстойных сосудов и выпуск воздуха из воздухоборников.

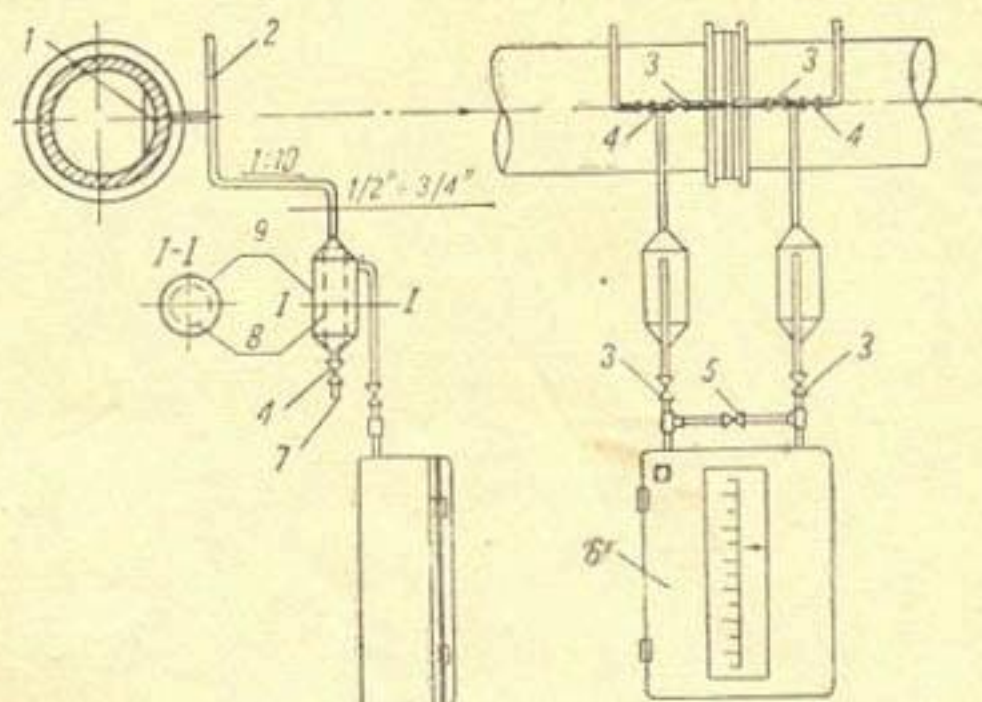


Рис. 1. Схема водомера с комбинированными сосудами:

1—сегментная диафрагма, 2—трубка для залива воды, 3—запорный вентиль, 4—продувочный вентиль, 5—уравнильный вентиль, 6—дифманометр, 7—дренажная трубка, 8—сетка, 9—отстойный сосуд.

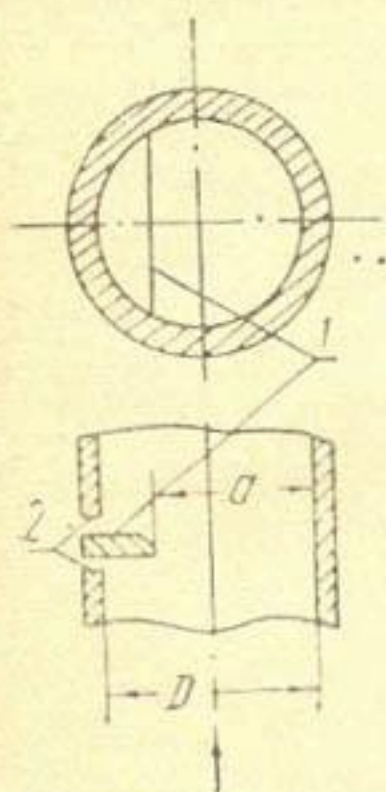


Рис. 2. Схема бокового расположения сегментной диафрагмы:

1—сегментная диафрагма, 2—отверстия для отбора давления.

Эксплуатационные качества приведенных на рис. 1 и 3 схем равноценны, однако вторая включает дополнительные элементы, что усложняет эксплуатацию водомера.

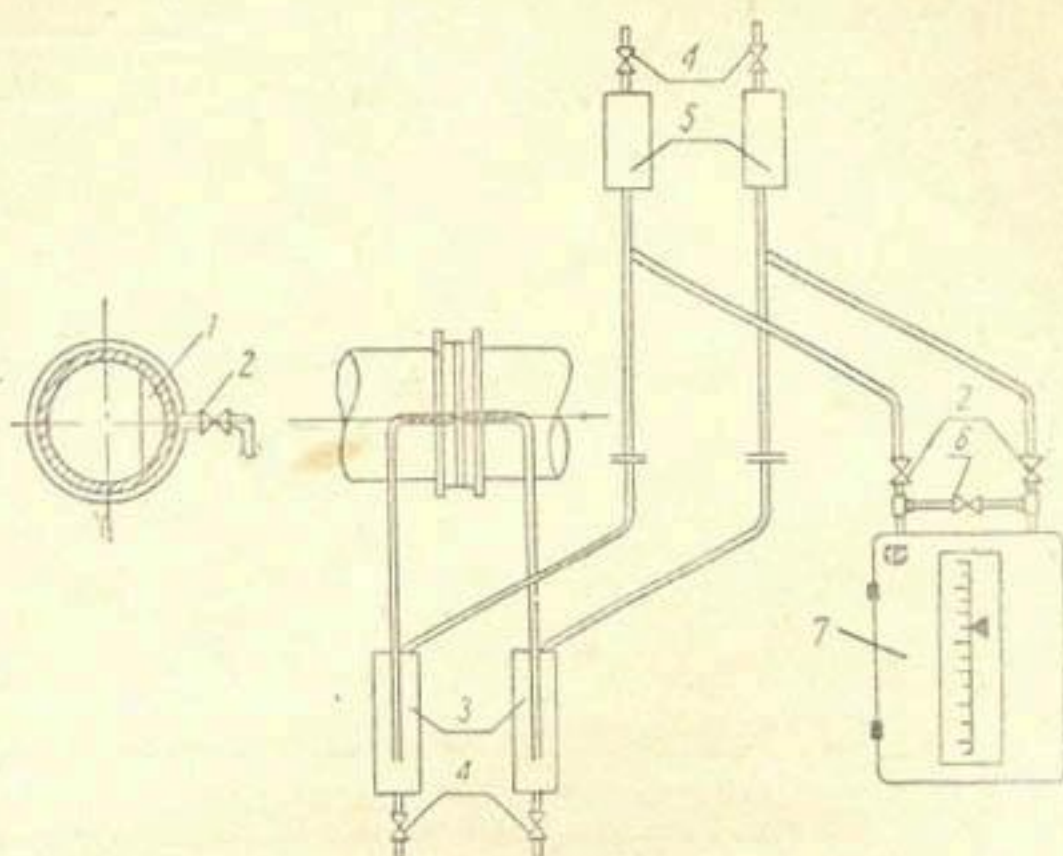


Рис. 3. Схема водомера с отстойными сосудами и воздухоборниками:

1—сегментная диафрагма, 2—запорный вентиль, 3—отстойный сосуд, 4—продувочный вентиль, 5—воздухоборник, 6—уравнильный вентиль, 7—дифманометр.

В качестве измерительного прибора в водомере может быть использован один из промышленных дифманометров - расходомеров. В зависимости от выбранной модели прибор позволит производить местное, дистанционное или телемеханическое измерение, запись и интегрирование величин расхода.

Рабочие формулы

Уравнение объемного расхода, проходящего через сегментное отверстие, имеет вид

$$Q = \alpha \cdot \omega_0 \cdot \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}}, \quad (1)$$

где α — коэффициент расхода;

ω_0 — площадь сегментного отверстия;

Δp — перепад давления, измеренный непосредственно у диафрагмы;

γ — удельный вес жидкости;

g — ускорение силы тяжести.

Если обозначить отношение площади сегментного отверстия к площади поперечного сечения трубопровода через m

$$m = \frac{\omega_0}{\omega} = \frac{\omega_0}{\frac{\pi}{4} D^2}. \quad (2)$$

где D — внутренний диаметр трубопровода, то уравнение (1) принимает вид

$$Q = \frac{\pi}{4} \alpha \cdot m \cdot D^2 \sqrt{2g \frac{\Delta p}{\gamma}}. \quad (3)$$

Коэффициент расхода α зависит от числа Рейнольдса Re

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}; \quad (4)$$

здесь v — средняя скорость, м/сек;

D — диаметр трубопровода, м;

ν — кинетический коэффициент вязкости, м²/сек (для воды при $t = 20^\circ$ будет $\nu = 10^{-6}$ м²/сек).

Эта зависимость проявляется до определенного значения Re , назы-

ваемого предельным, и дальнейшее увеличение Re не влияет на величину коэффициента расхода.

Численные значения коэффициентов расхода α и предельные значения чисел Рейнольдса $Re_{D_{пред}}$ для соответствующих значений относительной высоты сегментного отверстия a/D и m приведены ниже:

a/D	$m = \frac{\omega_0}{\omega}$	α	$Re_{D_{пред}}$
0,50	0,5000	0,6790	100 000
0,55	0,5635	0,7000	125 000
0,60	0,6264	0,7243	160 000
0,65	0,6881	0,7522	200 000
0,70	0,7476	0,7841	240 000
0,75	0,8043	0,8214	280 000
0,80	0,8575	0,8685	320 000
0,85	0,9060	0,9244	360 000.

Для практических расчетов в формулу (4) вводят численные значения величин $\frac{\pi}{4}$ и g , причем внутренний диаметр трубопровода D выражают в миллиметрах. Тогда

$$Q = 3,479 \cdot 10^{-6} \cdot \alpha \cdot m \cdot D^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma}} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (5)$$

$$Q = 3,479 \cdot 10^{-3} \cdot \alpha \cdot m \cdot D^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma}} \text{ л/сек},^* \quad (6)$$

где D — внутренний диаметр трубопровода, мм;

Δp — перепад давления, кг/м^2 ;

γ — удельный вес жидкости, кг/м^3 .

Значение перепада давления в сужающем устройстве Δp вычисляют по следующим формулам:

а) для кольцевых, колокольных и мембранных дифманометров —

$$\Delta p = 0,001 \cdot h_{20} \cdot \gamma'_{20} \text{ кг/м}^2; \quad (7)$$

здесь h_{20} — разность давлений в дифманометре, выраженная в миллиметрах водяного или ртутного столба;

γ'_{20} — удельный вес жидкости (воды или ртути), высотой столба которой при температуре 20° выражена величина h_{20} , кг/м^3 ;

б) для поплавковых и U-образных дифманометров —

$$\Delta p = 0,001 \cdot h_{20} \cdot \gamma'_{20} \left(1 - \frac{\gamma_{20}}{\gamma'_{20}} \right) \text{ кг/м}^2, \quad (8)$$

где γ'_{20} — удельный вес уравнивающей жидкости дифманометра при температуре 20° , кг/м^3 ;

γ_{20} — удельный вес вещества над уравнивающей жидкостью при температуре 20° .

После подстановки в уравнение расхода выражений (7) и (8) уравнения (5) и (6) в применении к случаю измерений расхода воды

* Расход на МНС следует измерять в кубических метрах в секунду или литрах в секунду, так как все расчеты на гидромелиоративных системах выполняются с использованием этих единиц.

с удельным весом $\gamma = 998 \text{ кг/м}^3$ при температуре 20° принимают следующий вид:

а) для кольцевых, колокольных и мембранных дифманометров

$$\Delta p = 13,546 \cdot h_{20} \text{ кг/м}^2, \quad (9)$$

$$Q = 4,053 \cdot 10^{-7} \cdot \alpha \cdot m \cdot D^2 \cdot \sqrt{h_{20}} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (10)$$

$$Q = 4,053 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha \cdot m \cdot D^2 \sqrt{h_{20}} \text{ л/сек}; \quad (11)$$

здесь h_{20} — разность давлений в дифманометре, мм рт. ст;

б) для поплавковых и U-образных дифманометров, заполненных ртутью, —

$$\Delta p = 12,548 \cdot h_{20} \text{ кг/м}^2, \quad (12)$$

$$Q = 3,900 \cdot 10^{-7} \cdot \alpha \cdot m \cdot D^2 \cdot \sqrt{h_{20}} \text{ м}^3/\text{сек}, \quad (13)$$

$$Q = 3,900 \cdot 10^{-4} \cdot \alpha \cdot m \cdot D^2 \cdot \sqrt{h_{20}} \text{ л/сек}. \quad (14)$$

Невозвратимая потеря давления, вызываемая сегментной диафрагмой, при максимальном расходе может быть определена по формуле

$$P_n = (1 - m) \Delta p^* \quad (15)$$

Невозвратимую потерю давления при расходе $Q < Q_{\max}$ определяют по формуле

$$P_n^Q = P_n \cdot \left(\frac{Q}{Q_{\max}} \right)^2 \quad (16)$$

Задача расчета водомера состоит в том, чтобы по заданному наибольшему эксплуатационному расходу и фактическому внутреннему диаметру трубопровода D определить:

- 1) максимальный расчетный расход $Q_{\max}$;
- 2) предельный перепад давления дифманометра-расходомера $h_{20\max}$;
- 3) конструктивные размеры сегментной диафрагмы и величину невозвратимой потери давления;
- 4) участок трубопровода для установки диафрагмы;
- 5) тип дифманометра-расходомера и вторичного прибора (если требуется);
- 6) подсчитать погрешности измерения расхода.

ВЫБОР МАКСИМАЛЬНОГО РАСЧЕТНОГО РАСХОДА

Максимальный расчетный расход, соответствующий верхнему пределу шкалы дифманометра-расходомера, должен несколько превышать ожидаемый наибольший эксплуатационный расход мелиоративной насосной станции. Верхние пределы шкал дифманометров-расходомеров, градуированных в единицах расхода, согласно ГОСТу, должны быть: 100, 125, 160, 200, 250, 320, 400, 500, 630, 800 с множителем 10^n , где n — любое положительное или отрицательное число. Из этого ряда выбирают ближайшее большее число и принимают его за $Q_{\max}$. Так как между расходом и перепадом давления существует квадратичная зависимость, погрешность измерения резко растет после уменьшения расхода ниже 30–50% от предела шкалы.

* Давление в 1 кг/м^2 равнозначно давлению в 1 мм вод. ст.

Поэтому при использовании промышленных дифманометров-расходомеров класса точности 1,5÷2,0 и максимально допустимой погрешности измерения $\pm 2,5\%$ диапазон измерения расхода $\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}$ обычно ограничен цифрами порядка 3,5÷4.

В силу того что допустимая погрешность измерения расхода оросительной воды может составлять $\pm 5\%$, диапазон измерения при благоприятных условиях может достигать 5.

ВЫБОР ПРЕДЕЛЬНОГО ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЙ ДИФМАНОМЕТРА-РАСХОДОМЕРА И ОТНОСИТЕЛЬНОГО СЕЧЕНИЯ СУЖЕНИЯ

Дифманометры-расходомеры независимо от конструкции характеризуются предельным перепадом давления $h_{20\max}$. Цифры предельных перепадов дифманометров, выраженные в миллиметрах ртутного или водяного столба, согласно ГОСТу, должны принадлежать к следующему ряду: 1; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630; 1000 и т. д.

При выборе предельного перепада дифманометра следует иметь в виду следующее: чем меньший перепад выбран для данного значения максимального расхода, тем большей будет относительная погрешность измерения; с другой стороны, чем больший выбран предельный перепад давления, тем больше абсолютная величина невозвратимой потери давления.

На возмещение потеряннго давления необходимо затрачивать энергию, а эксплуатационные расходы орошения с механическим водоподъемом все еще остаются высокими в основном за счет стоимости затрачиваемой энергии. Поэтому при выборе предельного перепада давления дифманометра для водомера МНС основное внимание следует уделить уменьшению невозвратимых потерь напора, так как требования, предъявляемые к точности измерения расходов оросительной воды, в настоящее время невысоки.

Выбор предельного перепада давления дифманометра не может быть произведен без ориентировочного выбора относительного сечения сужения m .

Для сужающих устройств с диафрагмами по нормам рекомендуется выбирать относительное сужение m порядка 0,2÷0,3. Даже при небольших скоростях это позволяет получать относительно большие перепады давления и применять дифманометры с предельными перепадами $h_{20\max} \geq 160$ мм рт. ст. Это влечет за собой увеличение невозвратимой потери давления. Однако высокие требования к точности измерения расхода (например, в химической промышленности) вынуждают делать такой выбор.

Для водомера мелиоративной насосной станции выбор столь низкого значения m не может быть оправдан по условиям как необходимой точности измерения расхода воды, так и необходимости пропуска загрязнений через сужающее устройство.

Для свободного прохода загрязнений и воздуха при расположении сегментной диафрагмы сбоку относительная высота сегментного отверстия должна быть не менее $a/D \geq 0,55 \div 0,60$ и, следовательно, относительное сужение должно быть не менее $m \geq 0,56 \div 0,62$. Мы предлагаем выбирать предельный перепад давления $h_{20\max}$ и делать предварительный выбор m в зависимости от максимальной скорости воды в трубо-

проводе по табл. 1. Скорость $v_{\max}$ определяется по выбранному $Q_{\max}$ и фактическому диаметру трубопровода D

$$v_{\max} = \frac{Q_{\max}}{0,785 \cdot D^2} \text{ м/сек.}$$

Т а б л и ц а 1*

Значения предельного перепада давления, мм рт. ст.

m	$v, \text{ м/сек}$							
	1,00	1,25	1,60	2,00	2,50	3,20	400	500
0,55	25	40	63	100	160	250	400	630
0,65	—	25	40	63	100	1160	250	400
0,75	—	—	25	40	63	100	160	250
0,85	—	—	—	25	40	63	100	160
0,95	—	—	—	—	25	40	63	100

* Большие значения предельного перепада $h_{20\max}$ следует выбирать для высоконапорных насосных станций; меньшие значения — для средне- и низконапорных станций.

РАСЧЕТ СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С СЕГМЕНТНОЙ ДИАФРАГМОЙ

Конструктивный размер сегментной диафрагмы a или величину m невозможно непосредственно определить из уравнений (10), (11), (13) или (14), так как каждое уравнение содержит по два неизвестных: относительное сечение m и зависящий от него коэффициент расхода α . Поэтому расчет необходимо производить графоаналитическим способом.

По одному из уравнений (10), (11), (13) или (14) — определяют произведение $m\alpha$ и по графику $m = f(m\alpha)$ (рис. 4) находят значение m . Коэффициент расхода α вычисляют аналитически*

$$\alpha = \frac{a \cdot m}{m}. \quad (17)$$

Для облегчения расчетов на рис. 4 приводится график $n = f\left(\frac{a}{D}\right)$, по которому определяют относительную высоту сегментного отверстия n , а затем вычисляют конструктивную высоту отверстия a :

$$a = n \cdot D. \quad (18)$$

После определения a необходимо сделать проверку. Для этого по графику (рис. 4) определяют $m\alpha$ и по одной из формул (10), (11), (13) или (14) вычисляют значение расхода. Полученное значение расхода может отличаться от расчетной величины расхода в пределах $\pm 0,2\%$. Если расхождение больше указанной величины, расчет необходимо повторить. После этого нужно вычислить минимальный расход, который может быть измерен без погрешности от влияния вязкости

$$Q = \frac{\pi}{4} \cdot D \cdot v \cdot Re_{\text{Диред}}, \quad (19)$$

* Поправки к исходному коэффициенту расхода на шероховатость трубопровода и на неостроту входной кромки диафрагмы не вводятся при $m > 0,55$ и $D \geq 200$ мм, что имеет место на мелиоративных насосных станциях.

где Q —объемный расход, $\text{м}^3/\text{сек}$;
 D —внутренний диаметр трубопровода, м ;
 ν —кинематический коэффициент вязкости, $\text{м}^2/\text{сек}$.
 $Re_{D\text{пред}}$ определяют по рис. 5.

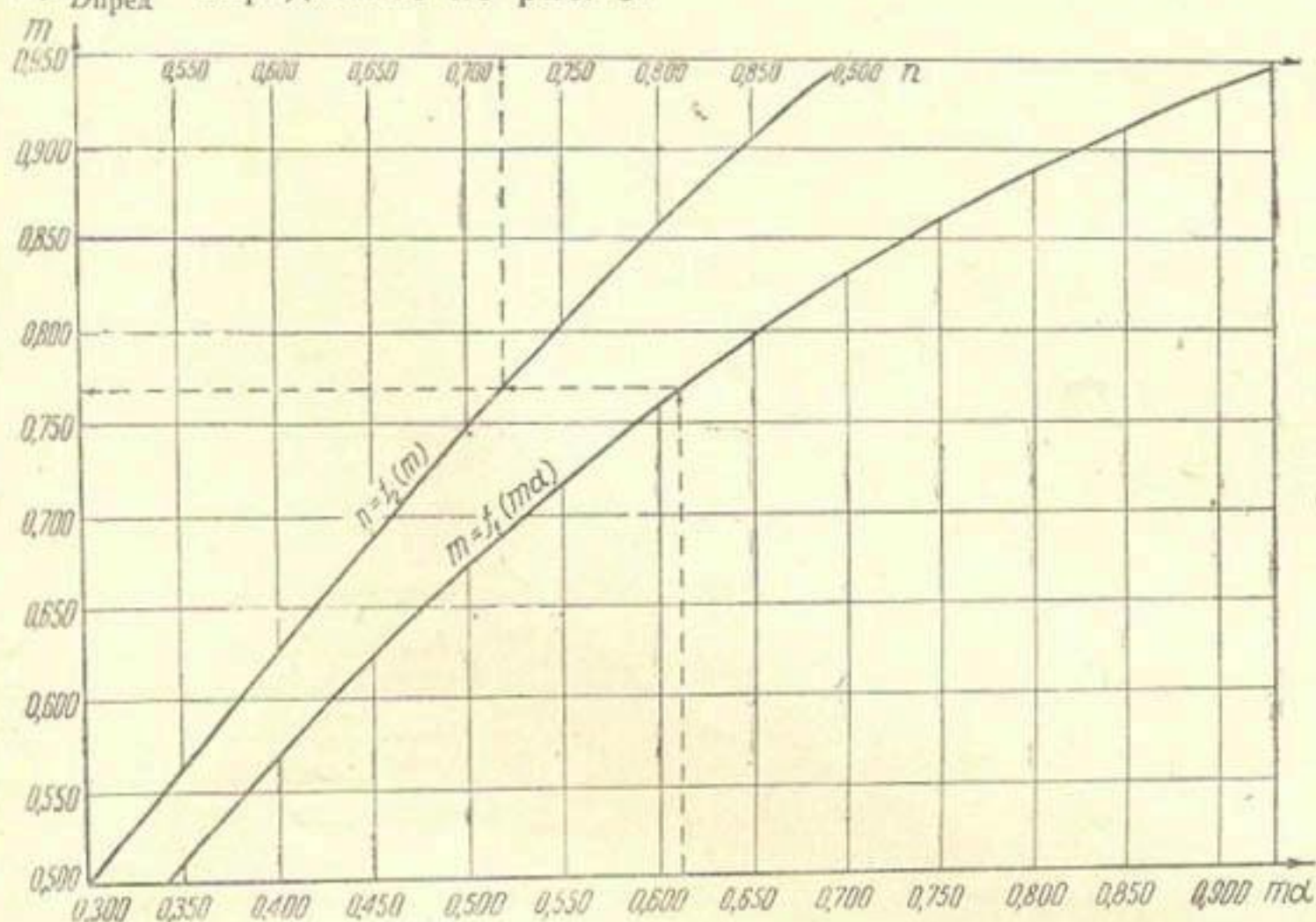


Рис. 4. График зависимости $m = f_1(m\alpha)$ и $n = f_2(m)$.

После подсчета $Q_{\min}$ определяют диапазон измерения расхода $\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}}$. При неудовлетворительном диапазоне измерения расхода следует уменьшить относительное сечение m (если это возможно), выбрать большее значение предельного перепада $h_{20\max}$ и, повторив весь расчет, определить новое значение диапазона измерения расходов.

Если нельзя уменьшить m , то следует оговорить, что измерение в нижней части шкалы до значения $Q_{\min}$ будет производиться с дополнительной погрешностью от влияния вязкости; это следует учитывать при измерениях.

Если нельзя уменьшить m , то следует оговорить, что измерение в нижней части шкалы до значения $Q_{\min}$ будет производиться с дополнительной погрешностью от влияния вязкости; это следует учитывать при измерениях.

Далее нужно оценить невозвратимую потерю давления, которую для максимального расчетного значения расхода определяют по формуле (15). При этом следует иметь в виду, что в большинстве случаев действительный расход не достигает максимального значения выбранной шкалы расходомера $Q_{\max}$. Обычно 70% расхода по шкале расходомера соответствуют 50% максимального перепада, а невозвратимая потеря давления составляет только долю измеренного перепада, равную $(1-m)$, которая всегда будет меньше 0,45.

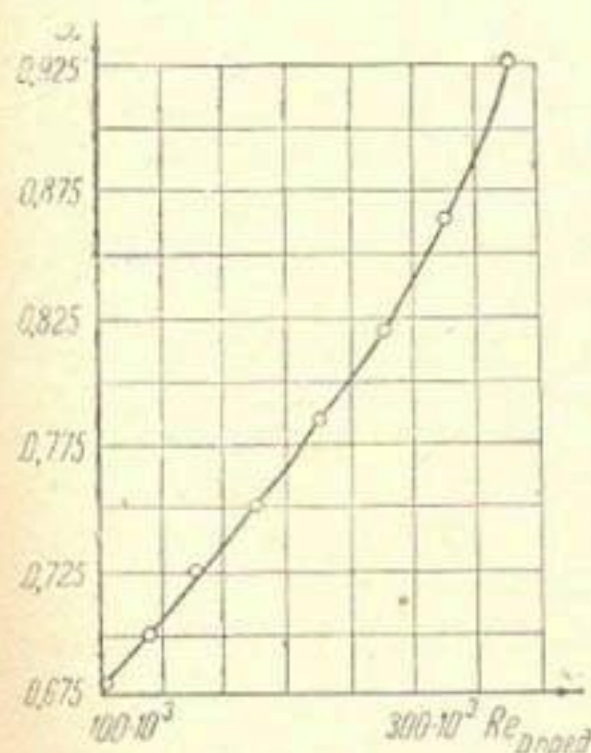


Рис. 5. График зависимости $\alpha = f(Re_{D\text{пред}})$.

максимального перепада, а невозвратимая потеря давления составляет только долю измеренного перепада, равную $(1-m)$, которая всегда будет меньше 0,45.

Экономическую оценку невозвратимой потери давления можно сделать, вычислив добавочную нагрузку насоса

$$\Delta W = P_n^Q \cdot Q \frac{0.736}{75} \text{ кВт}, \quad (20)$$

где P_n — невозвратимая потеря давления при номинальном расходе, кг/м^2 ;

Q — номинальный расход, $\text{м}^3/\text{сек.}$

ВЫБОР УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА ДЛЯ УСТАНОВКИ ДИАФРАГМЫ

Фасонные части и трубопроводная арматура, расположенные вблизи диафрагмы, могут вносить дополнительную погрешность измерения

расхода. Для устранения их влияния необходимо располагать диафрагму так, чтобы между ней и местными сопротивлениями были прямые участки трубопровода достаточной длины.

Относительная длина прямого участка перед диафрагмой выбирается в зависимости от m и вида местного сопротивления по графикам рис. 6.

Длина прямого участка трубопровода за диафрагмой во всех случаях должна быть не менее $5D$ [3].

На практике не всегда удается выполнить рекомендуемые условия установки диафрагмы.

Если сократить длину одного из участков в два раза, дополнительная погрешность в определении коэффициента расхода составит примерно $\pm 0,5\%$ [3]. Если окажется допустимой дополнительная погрешность измерения расхода $\pm 2\%$, необходи-

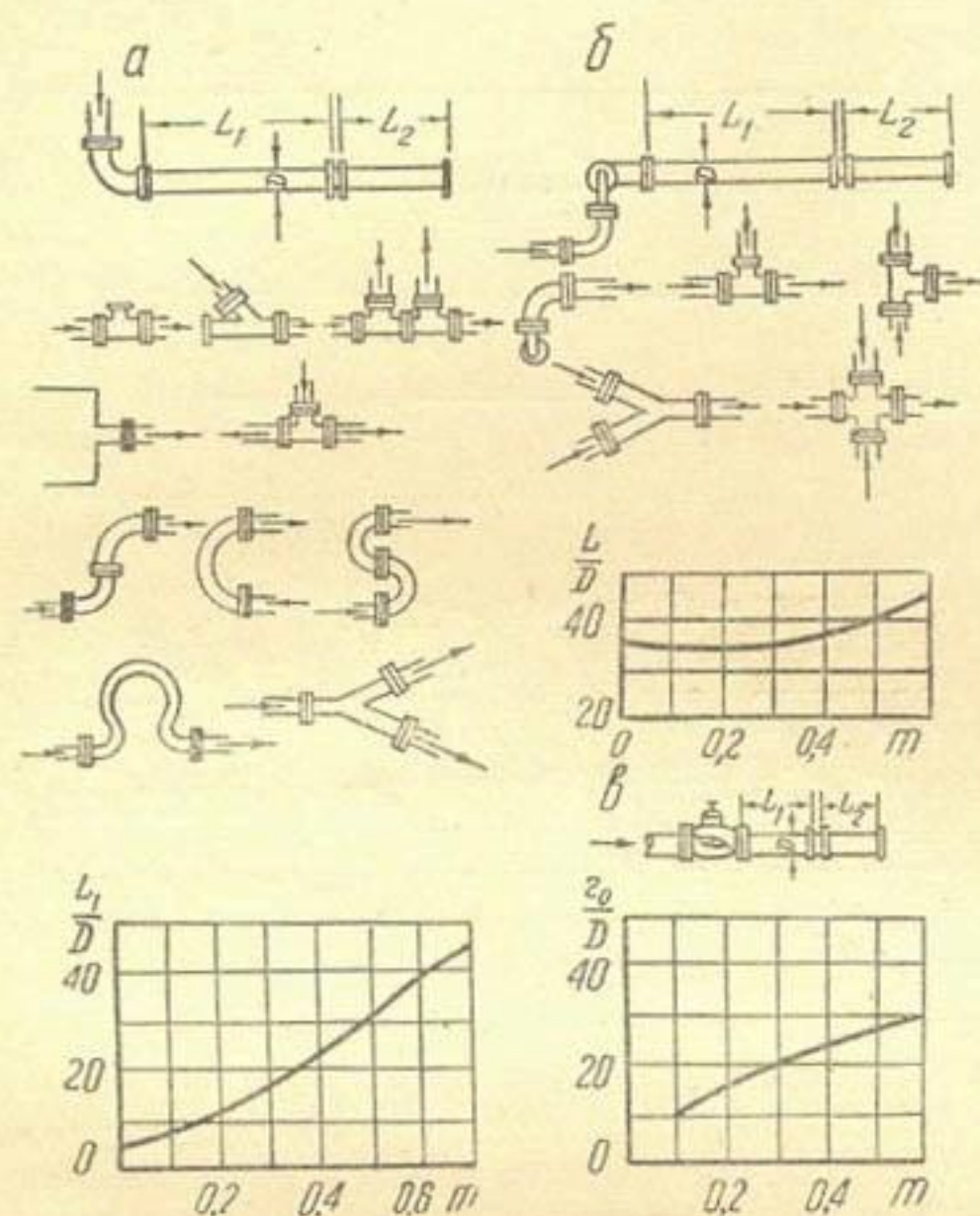


Рис. 6. Графики для определения необходимых длин прямых участков трубопроводов:

а — прямые участки за местными сопротивлениями, не создающими винтового движения потока, б — прямые участки за местными сопротивлениями, создающими винтовое движение потока, в — прямые участки за задвижкой (с любой степенью открытия).

мая длина прямых участков может быть значительно сокращена (табл. 2, [5]).

КОНСТРУКЦИЯ СУЖАЮЩЕГО УСТРОЙСТВА С СЕГМЕНТНОЙ ДИАФРАГМОЙ

Сегментная диафрагма должна изготавливаться из нержавеющей стали в соответствии со схемой рис. 7.

Отклонение высоты сегментного отверстия от расчетного размера не должно превышать $\pm 0,0010a$.

Наименьшую необходимую толщину диафрагмы определяют расчетным путем, исходя из условий механической прочности.

При выборе рекомендованных выше предельных перепадов давления толщину диафрагмы можно определять по эмпирической формуле в зависимости от диаметра

$$S=3lg\frac{D}{10}. \quad (21)$$

Вычисленное значение S округляют в большую сторону до целых миллиметров. При большом количестве наносов толщину диафрагмы следует принимать не менее $0,02 D$.

Т а б л и ц а 2

Причины погрешностей	Минимальная относительная длина l/D прямых участков для диафрагмы с $m \approx 0,7$	
	до диафрагмы	после диафрагмы
Колено	5	0
Двойное колено; тройник	7	2
Задвижка, открытая наполовину	7	2

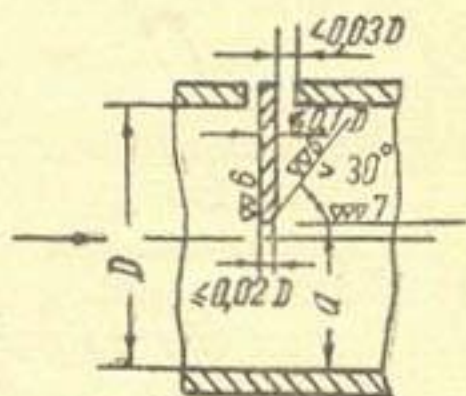


Рис. 7. Технические условия на изготовление сегментной диафрагмы.

Конструктивно сужающее устройство может быть выполнено одним из следующих способов.

1. Диск необходимой толщины с сегментным отверстием устанавливают на трубопроводе между фланцами.

2. На трубопроводе в месте установки диафрагмы делают пропил; в него на нужную глубину вставляют и укрепляют сваркой металлический лист, поверхность и кромку которого обрабатывают согласно рис. 7.

3. Сегмент, выполненный согласно рис. 7, приваривают к внутренней поверхности трубопровода.

Первый способ следует применять при необходимости смены диафрагмы (например, при ожидаемом механическом износе диафрагмы и т. д.). Для облегчения изготовления диска и отверстия в нем можно рекомендовать следующую технологию: изготавливают кольцо с внутренним диаметром, равным внутреннему диаметру трубопровода; к внутренней поверхности кольца приваривают сегмент, выполненный согласно рис. 7.

Второй способ следует применять в том случае, если узел сужающего устройства выполнен в виде отрезка трубопровода, изготавливаемого на заводе. Третий способ применим для трубопроводов большого диаметра. В этом случае сегмент может быть выполнен из простой стали и иметь сменную переднюю кромку толщиной $0,02 D$ в виде накладки из нержавеющей стали.

ВЫБОР ДИФМАНОМЕТРА-РАСХОДОМЕРА

В настоящее время наша промышленность выпускает различные типы дифманометров-расходомеров, которые позволяют производить местное, дистанционное или телемеханическое измерение, запись и интегрирование расхода жидкости [6].

Тип дифманометра-расходомера для измерения расходов воды на мелиоративной насосной станции следует выбирать на основе анализа будущей эксплуатации прибора.

В тех случаях, когда не требуется диспетчеризации контроля расхода или по каким-либо соображениям желательно иметь прибор, не требующий электропитания, следует применять механические кольцевые дифманометры-расходомеры с ртутным заполнением типа ДК или механические поплавковые дифманометры типа ДП. Первые более точны и надежны в эксплуатации. Однако поплавковые дифманометры проще в конструктивном отношении, стоимость их ниже и для их эксплуатации требуется менее квалифицированный персонал.

В целях осуществления диспетчеризации контроля расхода нужно применять кольцевые дифманометры-расходомеры с ртутным заполнением типа ДК-Ф с вторичными приборами типа ВФ, мембранные дифманометры-расходомеры типа ДМ с вторичными приборами ЭПВД или поплавковые дифманометры-расходомеры типа ДП с вторичными приборами Э.

Отличительной особенностью приборов типа КД-Ф является возможность производить суммирование показаний нескольких дифманометров на общем вторичном приборе, что делает удобным их использование на насосных станциях с несколькими агрегатами. Помимо этого, к приборам типа ДК-Ф разработана система телеизмерения типа ВРТ-1, дальность действия которой составляет 15 км.

Дифманометры типа ДП по точности измерения уступают дифманометрам типа ДК-Ф и ДМ, однако они проще в эксплуатации и дешевле.

ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОДЫ

Показывающий дифманометр. Среднюю квадратичную относительную погрешность измерения величины расхода воды показывающим дифманометром определяют по формуле

$$\sigma_Q = \pm \sqrt{\sigma_\alpha^2 + \frac{1}{4} \sigma_{\Delta p}^2} \%, \quad (22)$$

где σ_α — средняя квадратичная относительная погрешность коэффициента расхода;

$\sigma_{\Delta p}$ — средняя квадратичная относительная погрешность значения перепада давления.

В формуле (22) опущены: а) слагаемое, учитывающее погрешность сегментного отверстия ввиду его малости (при принятых допусках изготовления); б) слагаемое, учитывающее погрешность удельного веса воды, так как ее температура меняется не более чем на $\pm 25^\circ$ от расчетной.

Величину σ_α вычисляют по формуле

$$\sigma_\alpha = \pm \sqrt{(\sigma_\alpha)_n^2 + (\sigma_\alpha)_D^2 + (\sigma_\alpha)_{l_1}^2 + (\sigma_\alpha)_{l_2}^2} \%, \quad (23)$$

где $(\sigma_\alpha)_n$ — средняя квадратичная относительная погрешность исходного коэффициента расхода;
 $(\sigma_\alpha)_D$ — средняя квадратичная относительная погрешность, обусловленная отклонением действительного диаметра трубопровода от его расчетного значения;

$(\sigma_a)_{I_1}$ и $(\sigma_a)_{I_2}$ — средняя квадратичная относительная погрешность, учитывающая влияние уменьшения длины прямого участка перед диафрагмой и после нее соответственно.

В формуле (23) опущены:

а) средняя квадратичная относительная погрешность поправочного множителя на неостроту входной кромки диафрагмы, так как при диаметре трубопровода $D \geq 200$ мм и относительном сужении $m \geq 0,55$ поправочный множитель на неостроту входной кромки диафрагмы не вводится в расчет;

б) средняя квадратичная относительная погрешность поправочного множителя на шероховатость трубопровода по причине, указанной в пункте а);

в) средняя квадратичная относительная погрешность поправочного множителя на вязкость, поскольку расчет сужающего устройства выполняется при условии $Re \geq Re_{D \text{ пред.}}$.

Значение величины $(\sigma_a)_n$ берут по данным, приводимым ниже:

m	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75*	0,80*	0,85*	0,90*
$(\sigma_a)_n$	0,65	0,72	0,81	0,92	1,05	1,20	1,40	1,65	1,95.

Средняя квадратичная относительная погрешность $(\sigma_a)_D$ вводится в тех случаях, когда несоответствие действительного и расчетного диаметров не учитывалось поправочным коэффициентом $A = \frac{\alpha'}{\alpha}$, где α — коэффициент расхода, соответствующий расчетному диаметру трубопровода; α' — коэффициент расхода, соответствующий действительному значению диаметра трубопровода.

Подсчет $(\sigma_a)_D$ производят по зависимости

$$(\sigma_a)_D = \frac{\alpha - \alpha'}{\alpha} \cdot 100\%. \quad (24)$$

Средняя квадратичная относительная погрешность $(\sigma_a)_{I_1}$ (а также $(\sigma_a)_{I_2}$) вводится в тех случаях, когда длина прямого участка до и после диафрагмы не соответствует требуемой. О величинах $(\sigma_a)_{I_1}$ и $(\sigma_a)_{I_2}$ упоминалось в разделе о выборе участка трубопровода для установки диафрагмы.

Среднюю квадратичную относительную погрешность значения перепада давления, измеряемого показывающим дифманометром, вычисляют по формуле

$$\sigma_{\Delta p} = \frac{1}{3} \cdot \frac{N_{\text{шк max}}^2}{N^2} \cdot a_N \%, \quad (25)$$

где $N_{\text{шк max}}$ — верхний предел показаний по шкале дифманометра;

N — показание дифманометра;

a_N — допустимая основная погрешность показаний к верхнему пределу измерений разности давлений, %.

Самопишущий дифманометр. Средняя квадратичная относительная погрешность значения расхода (количества) при применении

* Значения получены по интерполяции.

самопишущего дифманометра может быть вычислена по выражению

$$\sigma = \pm \sqrt{\sigma_{\alpha}^2 + \frac{1}{4}\sigma_{\Delta p}^2 + \sigma_{\partial}^2 + \sigma_n^2} \%, \quad (26)$$

в которой σ_{∂} — средняя квадратичная относительная погрешность хода диаграммы, %;

σ_n — средняя квадратичная относительная погрешность планиметра, %.

Величину $\sigma_{\Delta p}$ в этом случае определяют для среднего значения расхода за соответствующий промежуток времени.

Величину σ_{∂} вычисляют по зависимости

$$\sigma_{\partial} = 0,023\Delta\tau \%, \quad (27)$$

здесь $\Delta\tau$ — допустимая погрешность хода диаграммы за сутки в минутах.

Величину σ_n определяют по формуле

$$\sigma_n = \frac{1}{3} S_n \%, \quad (28)$$

где S_n — допустимая относительная погрешность планиметра, % (зависит от конструкции планиметра).

Суммирующий дифманометр. Средняя квадратичная относительная погрешность значения расхода (количества) при применении суммирующего дифманометра равна

$$\sigma = \pm \sqrt{\sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\text{ин}}^2} \%, \quad (29)$$

здесь $\sigma_{\text{ин}}$ — средняя квадратичная относительная погрешность интегратора.

Величину $\sigma_{\text{ин}}$ определяют по зависимости

$$\sigma_{\text{ин}} = \frac{1}{3} \cdot S_{\text{ин}} \%, \quad (30)$$

в которой $S_{\text{ин}}$ — допустимая относительная погрешность показаний интегратора, %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кремлевский П. П. Расходомеры, М.—Л., Машгиз, 1955.
2. Лобачев П. В., Шевелев Ф. А. Водомеры для водопроводов и канализаций, М., Госстройиздат, 1957.
3. Правила 27-54 по применению и проверке расходомеров с нормальными диафрагмами, соплами и трубами Вентури, М., 1956.
4. Сальников М. П. Вопросы гидротехники, вып. 7, Ташкент, АН УзССР, 1961.
5. Кречмер Ф. Карманный справочник по измерению расхода диафрагмами, М.—Л., Госэнергоиздат, 1948.
6. Приборы и средства автоматизации, номенклатурный справочник, вып. 3 и 6, М., ЦБТИ, 1961.

А. А. ГАРТУНГ

НАТУРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕГМЕНТНЫХ ЗАТВОРОВ-АВТОМАТОВ

Вопросы автоматического регулирования расходов и горизонтов в каналах ирригационных систем можно решать значительно проще, если применять гидравлические (вододействующие) затворы-автоматы, т. е. такие устройства, которые работают не на посторонней энергии, а на энергии потока воды, протекающей через данные сооружения.

Несомненно, необходимо иметь на системе водомерные сооружения, с помощью которых можно замерять расходы воды и регистрировать сток, но, пожалуй, не менее, а даже более важно оснастить системы сооружениями, автоматически регулирующими подачу расходов воды в каналы в строгом соответствии с установленными нормами. И вполне естественно, что создание конструкций относительно простых гидротехнических сооружений, использующих энергию потока воды для автоматического регулирования расходов или горизонтов воды в каналах, имеет весьма важное значение.

В настоящее время на оросительных системах Голодной степи, построенных из бетонных лотков, проводятся широкое внедрение и производственная проверка средств гидравлической автоматики регулирования и распределения воды. В процессе проектирования автоматических затворов, которыми занимаются сотрудники Средазгипроводхlopка, выявились вопросы, разрешение которых потребовало проведения натурных и лабораторных исследований автоматов верхнего бьефа, устанавливаемых в Голодной степи.

В 1960—1961 гг. в лаборатории автоматизации Института водных проблем и гидротехники АН УзССР были проведены исследования моделей малого масштаба гидравлических затворов-автоматов верхнего бьефа с поплавком на обшивке (типа „Нейрпик“) и вынесенным в отдельный колодец. В 1962 г. в целях уточнения и проверки результатов лабораторных исследований были испытаны натурные образцы затворов-автоматов верхнего бьефа. Для этой цели построили и оборудовали стенд (рис. 1) с натурным лотком двух профилей: первый параболический, профиль которого построен по уравнению $X^2 = 2PY$, где $P = 0,2$, второй — полуциркульный. Нормальная глубина наполнения принята равной 0,5 м и уклон 0,005. Подачу воды в лоток осуществляли горизонтальным насосом марки ПГ-35 М.

Вода, забираемая насосом из р. Салар, попадает в первый отсек стенда, отсюда через решетки двух стенок гасителей — в бассейн, а затем в лоток. Для замера количества подаваемой воды за стенками гасителей установлен трапецеидальный водослив. Для регулирования

и изменения расхода воды перед водосливом установлена сбросная труба с клапанным затвором. Вода из сброса попадает в сбросной канал и оттуда в р. Салар. Горизонт воды перед водосливом измеряли в процессе опытов по пьезометру, у которого начало отсчета шкалы нивелировкой приводили к отметке порога водослива.

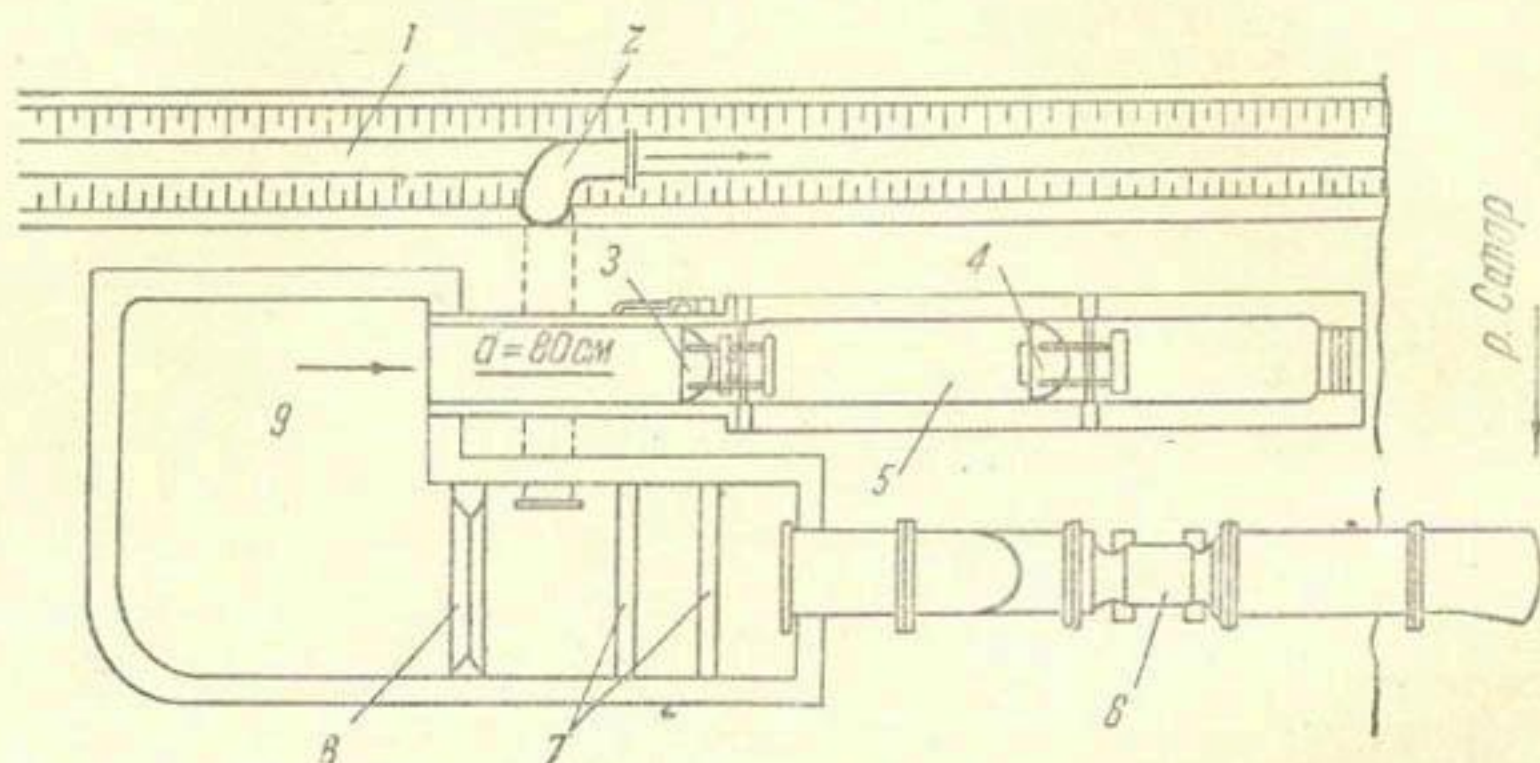


Рис. 1. Стенд для испытания натуральных образцов затворов-автоматов:

1—сбросной канал, 2—сброс из стенда, 3—затвор с поплавком в колодце, 4—затвор „Нейрпик“, 5—параболический лоток $H=60$ см, 6—насос ПГ-35М, 7—стенки гасителя, 8—водослив, 9—напорный бассейн.

Установка регулируемого сброса позволила изменять пропускаемые расходы по лотку от 0 до максимально возможных, которые мог дать насос.

На лотке были смонтированы два натуральных затвора-автомата горизонта верхнего бьефа. На участке лотка с полуциркульным профилем был установлен затвор-автомат с поплавком в боковом колодце (рис. 2). Ниже, на участке лотка с параболическим профилем, был смонтирован натуральный затвор типа „Нейрпик“, изготовленный ремонтно-механическим заводом в г. Мирзачуле. Продольный разрез и размеры затвора показаны на рис. 3. Подобные затворы применяют на лотковых каналах в Голодной степи.

Для изучения работы автоматов в условиях затопленного истечения в конце лотка был установлен плоский щиток, с помощью которого можно было изменять горизонты в нижнем бьефе.

Горизонты воды в лотке перед затвором и за ним фиксировали в процессе опытов по шкалам пьезометров, начало отсчета у которых нивелировкой приводили к отметке дна лотка. Углы подъема затвора в градусах отмечали по шкале угломера, высоты открытия затворов—непосредственным измерением.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

I. Затворы типа Нейрпик. Проверку точности поддержания горизонта верхнего бьефа для натурального затвора типа „Нейрпик“ проводили на стенде без предварительного снятия кривых динамических выталкивающих моментов поплавка. Веса грузов, необходимые для регулирования затвора-автомата, определяли по методике, предложенной инж. Э. Э. Пепловым (Средазгипроводхлопок); они соответственно равны: начальный груз поплавка $Q_{F_1}=9,7$ кг; вес противовеса $Q_2=15,0$ кг.

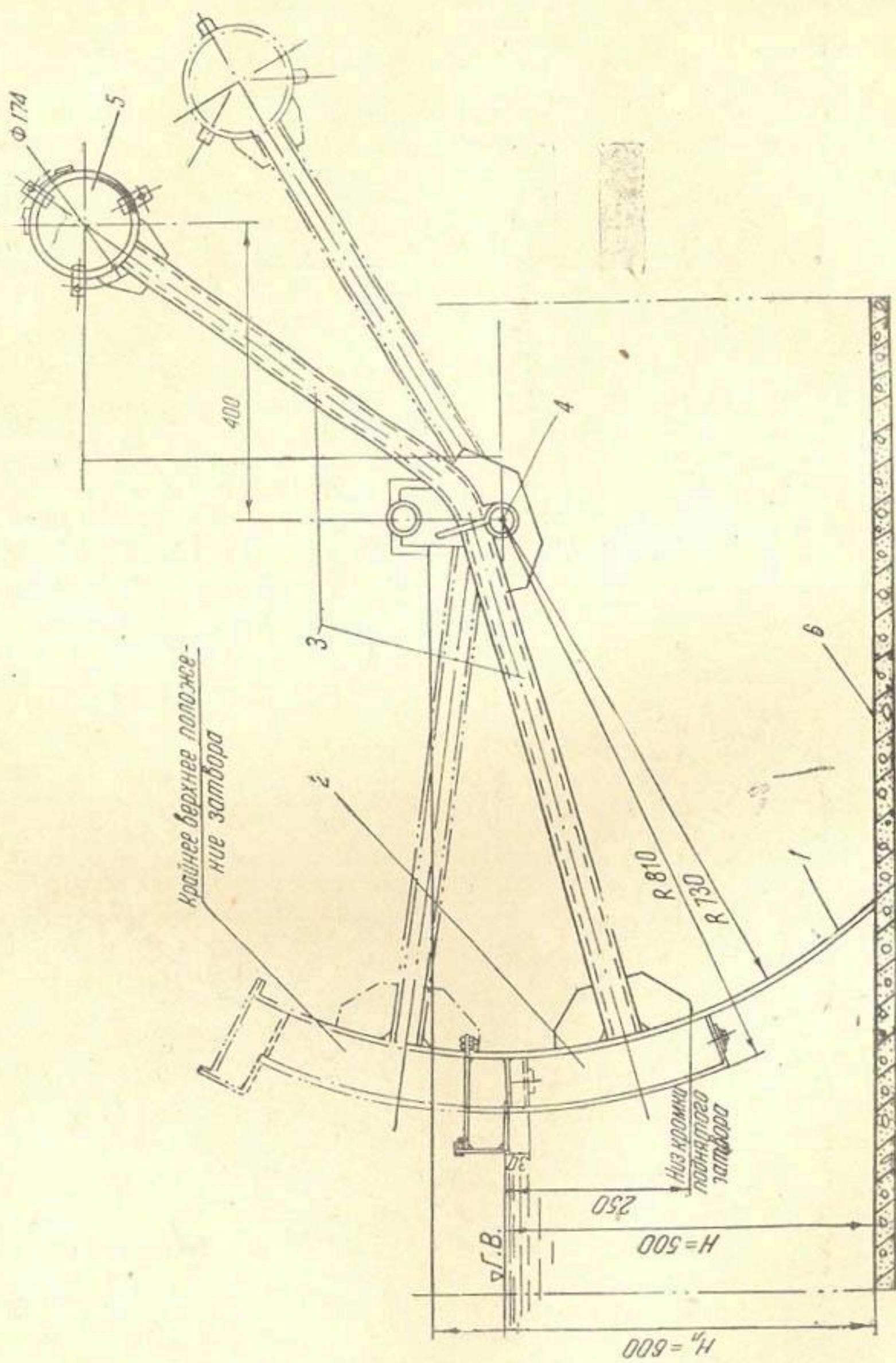


Рис. 3. Затвор-автомат верхнего бьефа типа «Нейрик»:

1 — обшивка затвора, 2 — ползавок, 3 — нога затвора, 4 — ось затвора, 5 — контргруз, 6 — лоток.

Сама методика определения грузов достаточно полно освещена в статье [1].

После установки груза провели серию опытов по определению точности поддержания горизонта верхнего бьефа $H_v = 50$ см. Результаты опытов представлены на графике $H_p = f(\alpha^\circ)$ для различных расходов (рис. 4 а). Максимальная погрешность при работе автомата составляла при этом ± 6 см.

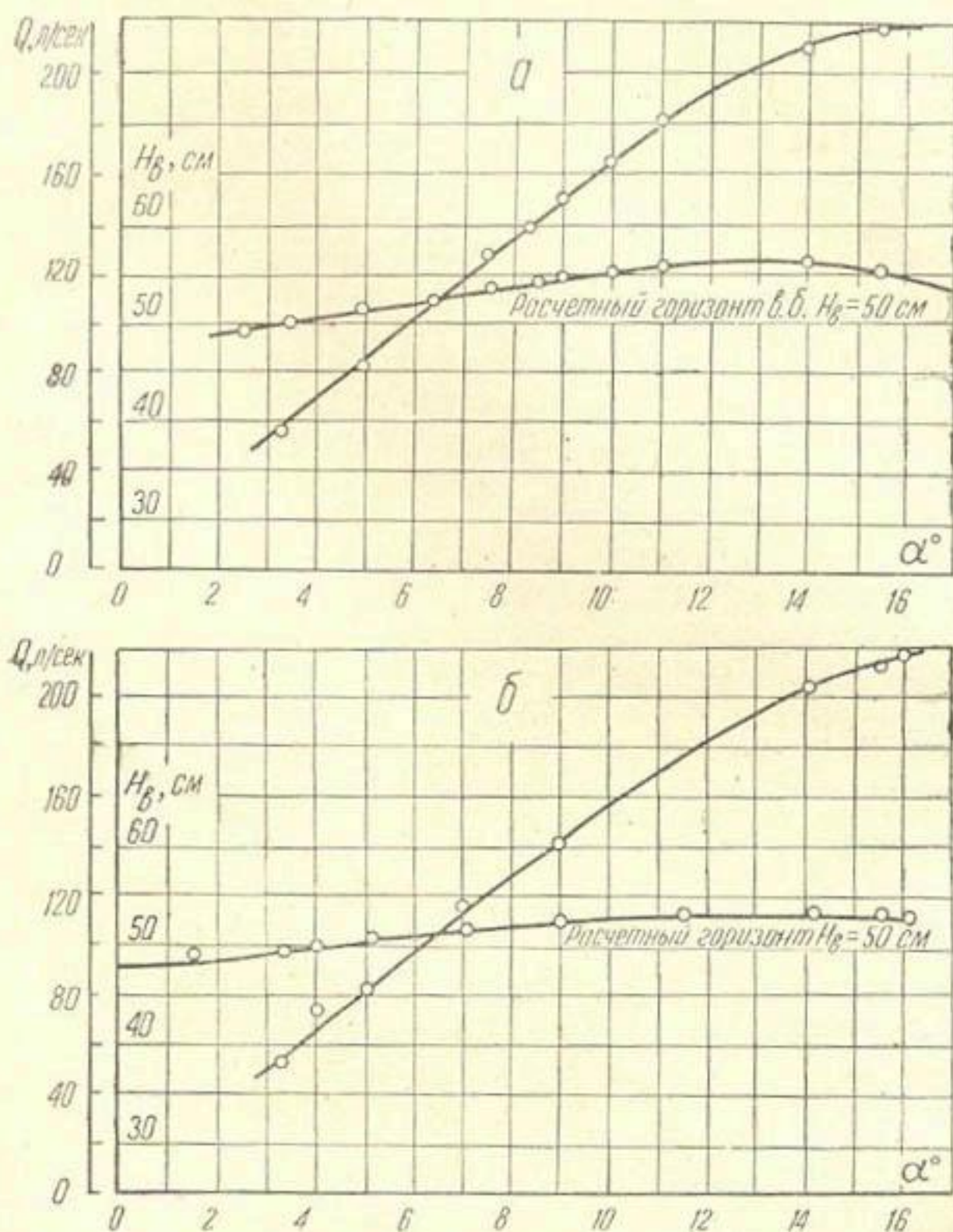


Рис. 4. Графики поддержания горизонта верхнего бьефа для автомата «Нейрик»:

а — при статической регулировке грузами, б — при дополнительной регулировке.

Открытие затвора происходило при $H_v = 49$ см, но при последующем увеличении пропускаемого расхода горизонт верхнего бьефа достигал 56 см. Угол максимального открытия затвора по шкале угломера составил $15^\circ 30'$ при пропуске 210 л/сек. Расстояние от нижней кромки обшивки затвора до дна лотка при этом было равно 20,5 см, что составляет примерно 0,4 от принятого горизонта.

С целью уменьшения величины погрешности в поддержании горизонта автоматом была предпринята дополнительная регулировка путем уменьшения веса груза, помещенного на верхней кромке обшив-

ки затвора. Груз Q , составлявший по расчету 9,7 кг, уменьшили на 0,7 кг и провели новую серию опытов, результаты которых отражены на графике $H_v = f(\alpha^0)$, представленном на рис. 4б.

Из опытов видно, что уменьшение расчетного груза Q дает большую точность поддержания горизонта воды перед затвором: максимальные отклонения от принятого горизонта не превышали ± 3 см.

Таким образом, установка поплавка, когда его нижняя плоскость находится на середине высоты обшивки затвора, как это сделано у натурного образца автомата, приводит к уменьшению динамических сил подсоса, но полностью ликвидировать их не удастся. В этом случае статическая регулировка автомата грузами, как показали опыты, дает погрешность поддержания горизонта, равную 10—12%, что может быть допустимо при наличии гидравлических автоматов расхода, установленных на выпусках. Дополнительная подрегулировка грузами для частичной компенсации сил подсоса приводит к снижению ошибки до 5—6%.

В целях проверки работы затвора-автомата в условиях затопленного истечения были проведены опыты по определению величины погрешностей в поддержании заданного горизонта верхнего бьефа при изменении характера истечения из-под затвора от свободного до максимально возможной величины подтопления в нижнем бьефе. Подтопление создавали искусственно при помощи щита с винтовым подъемником, установленным в конце лотка.

Отбор горизонтов нижнего бьефа производили с помощью пьезометров и игл в двух точках: непосредственно у нижней кромки затвора и на расстоянии $5H_v$ от оси вращения затвора.

Опыты показали, что в результате снижения динамического воздействия потока за счет переноса нижней кромки поплавка на середину обшивки затвора подтопление с нижнего бьефа в точке отбора горизонта $5H_v$ допускается от $\frac{H_n}{H_v} = 0,90$ при перепаде $Z = 0,1H_v$ для

$Q = 80$ л/сек и $\frac{H_n}{H_v} = 0,8$ для $Q = 200$ л/сек. Погрешность в поддержании верхнего бьефа при таких перепадах и изменении расхода от 80 до 200 л/сек не выходит за пределы ранее найденных для свободного истечения.

В результате опытов найдено, что в интервале пропуска расхода от 80 до 150 л/сек как при свободном, так и при затопленном истечении затвор работает неустойчиво. При образовании волн в лотке или изменении расхода затвор приходит в колебательное движение, раскачивание приводит к переливу воды из лотка и опрокидыванию затвора. Для ликвидации этого явления было предложено установить на затвор демпфирующее устройство. Испытание нескольких типов демпферов показало, что лучшие результаты дает поршневой демпфер, наполненный жидкостью. На рис. 5 приводится конструкция демпфера, у которого поршень состоит из двух резиновых манжет $\varnothing 38$ мм, используемых в тормозных цилиндрах задних колес автомобиля.

Гидравлическое сопротивление передвижению поршня при перетекании жидкости создают два отверстия $\varnothing 2$ мм, просверленных в прижимных шайбах 9. В качестве жидкости для заливки цилиндра употребляют гидротормозную жидкость, применяемую в тормозных системах автомобилей.

Использование резиновых манжет, широко выпускаемых нашей промышленностью, дает возможность получить лучшее уплотнение,

требование к точности изготовления цилиндра значительно снижено, так как допуски на диаметр цилиндра при расточке могут колебаться до $\pm 0,5$ мм, что значительно облегчает и удешевляет его изготовление.

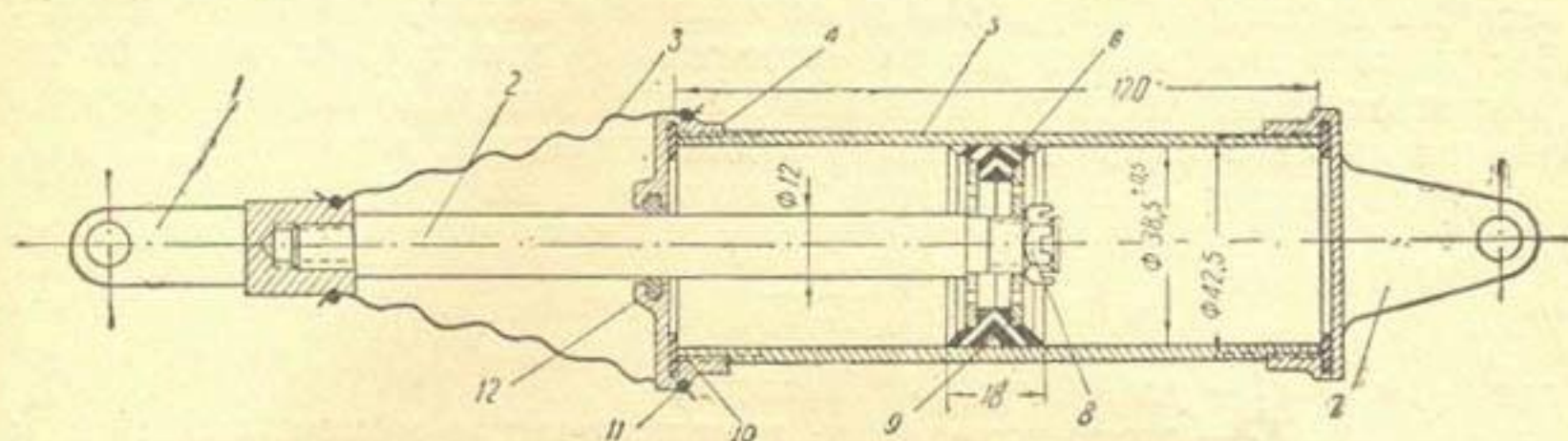


Рис. 5. Разрез демпфера для автомата „Нейрпик“:

1—вилка, 2—шток, 3—парусиновый кожух, 4—крышка цилиндра, 5—цилиндр, 6—манжет резиновый, 7—крышка цилиндра нижняя, 8—гайка, 9—прижимная шайба, 10—прокладка, 11—пружинное кольцо, 12—сальник.

Применение гидротормозной жидкости для заливки цилиндра приведет к более стабильной работе демпфера, так как вязкость ее с колебанием температуры меняется незначительно. Демпфер, показанный на рис. 5 с диаметром цилиндра 38,5 мм и ходом поршня 100 мм, можно рекомендовать для применения в автоматах, предназначенных для поддержания горизонта $H_v = 50; 80$ и 100 см.

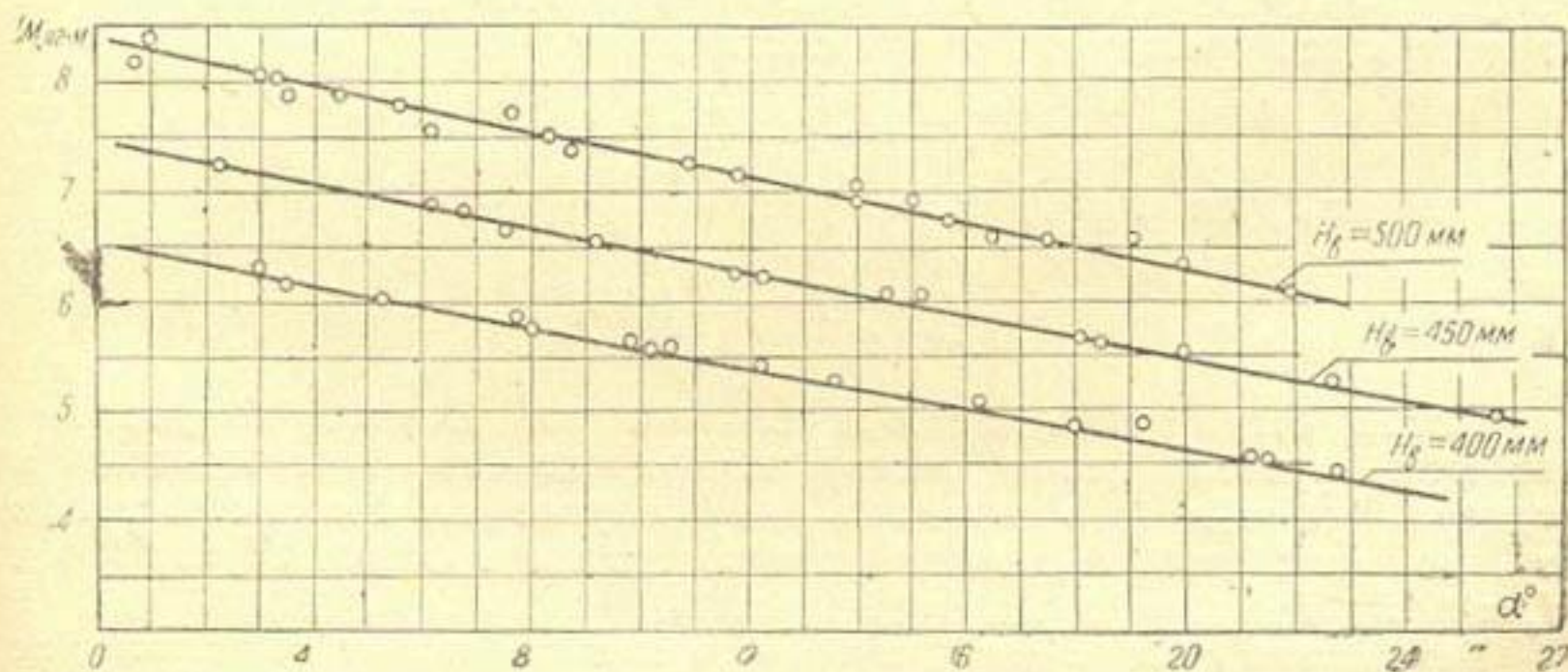


Рис. 6. График зависимости выталкивающих моментов для автомата с поплавком в колодце.

II. Затвор-автомат с поплавком в колодце (рис. 2) представляет собой сегментный затвор, обшивка которого очерчена по радиусу 730 мм из центра оси вращения затвора. Привод затвора осуществляется с помощью поплавка, помещенного в изолированный колодец, который сообщается трубой с верхним бьефом. Выходной конец подводящей трубы находится в том месте лотка, где по условиям эксплуатации необходимо поддерживать постоянный горизонт; в нашем случае он находится на расстоянии $2H_v$ от торца обшивки затвора.

Металлоконструкция затвора и поплавка может быть сбалансирована с помощью передвижного противовеса 10.

На вертикальных стойках 7 помещен контргруз 8, уравнивающий выталкивающие моменты поплавка. Положение контргруза можно менять за счет его передвижения по стойкам и изменением наклона стоек относительно вертикали.

Перед началом опытов затвор балансировался в лотке без воды с помощью противовеса 10.

Выталкивающие моменты поплавка измеряли в процессе опытов весовым способом. На рис. 6 даны кривые выталкивающих моментов. Вес и координаты контргруза определяли для трех горизонтов по фактическим выталкивающим моментам поплавка, полученным во время опытов после балансировки затвора для расчетных горизонтов.

Угол наклона стоек контргруза находили по уравнению

$$\frac{\sin(\beta - \alpha_1)}{\sin(\beta - \alpha_2)} = \frac{M_1}{M_2}, \quad (1)$$

где α_1 и α_2 — углы поворота затвора;

M_1 и M_2 — соответствующие выталкивающие моменты поплавка;

β — угол наклона стоек контргруза.

Для $H_b = 50$ см принимаем

$$\alpha_1 = 0^\circ, \quad M_1 = 8,4 \text{ кгм},$$

$$\alpha_2 = 20^\circ, \quad M_2 = 6,2 \text{ кгм}.$$

Отношение моментов равно

$$\frac{M_1}{M_2} = 1,355.$$

Решая уравнение (1), получаем угол $\beta = 59^\circ 45'$. Расстояние контргруза от центра оси вращения затвора составляет

$$M_1 = G \cdot l \cdot \sin(\beta - \alpha_1). \quad (2)$$

Приняв вес груза $G = 15$ кг, получим

$$l = \frac{8,4}{15 \cdot \sin 59^\circ 45'} = 0,65 \text{ м}.$$

После регулировки затвора-автомата по данным, полученным расчетом, провели серию опытов по определению погрешностей в поддержании заданного горизонта при пропуске транзитных расходов от 0 до максимально возможных и построили графики $H_b = f(Q)$ и $H_b = f(\alpha^\circ)$ для двух горизонтов (рис. 7).

Результаты опытов показывают, что затвор-автомат поддерживает горизонт верхнего бьефа с высокой точностью: ошибки не превышали ± 1 см. Волнения в канале и резкие изменения транзитного расхода не отражались на устойчивости работы затвора, поэтому изготовления и установки демпфирующих устройств не требуется. Затвор-автомат с поплавком в колодце без увеличения погрешностей можно отрегулировать на поддержание горизонтов, отметки которых могут располагаться как выше оси вращения затвора, так и ниже.

В связи с тем, что обшивка сегментного затвора очерчена по радиусу, центр которого проходит через ось вращения затвора, а поплавок изолирован в колодце, динамические и статические силы давления воды, приложенные к радиальной обшивке затвора, не могут дать моментов, поворачивающих затвор вокруг шарнира. Поэтому подтопление со стороны нижнего бьефа не влияет на работу затвора с поплавком в отдельном колодце. Без ущерба для точности поддержания горизонта верхнего бьефа перепад Z в опытах доводили до 3 см.

III. Уплотнения для затворов-автоматов, установленных на лотках. Обследования затворов-автоматов, установленных на лотковой

сети в Голодной степи, показало, что ввиду плохой подгонки обшивки затворов по профилю лотка возникает недопустимо большая фильтрация, достигающая в некоторых случаях такой величины, что весь транзитный расход по лотку проходит через зазоры при закрытом положении затвора. Полностью ликвидировать фильтрацию с помощью уплотнений нельзя, так как при расчетном горизонте и начальном закрытом положении затвор находится в равновесии, а поэтому отсутствует сила, прижимающая затвор к порогу сооружения.

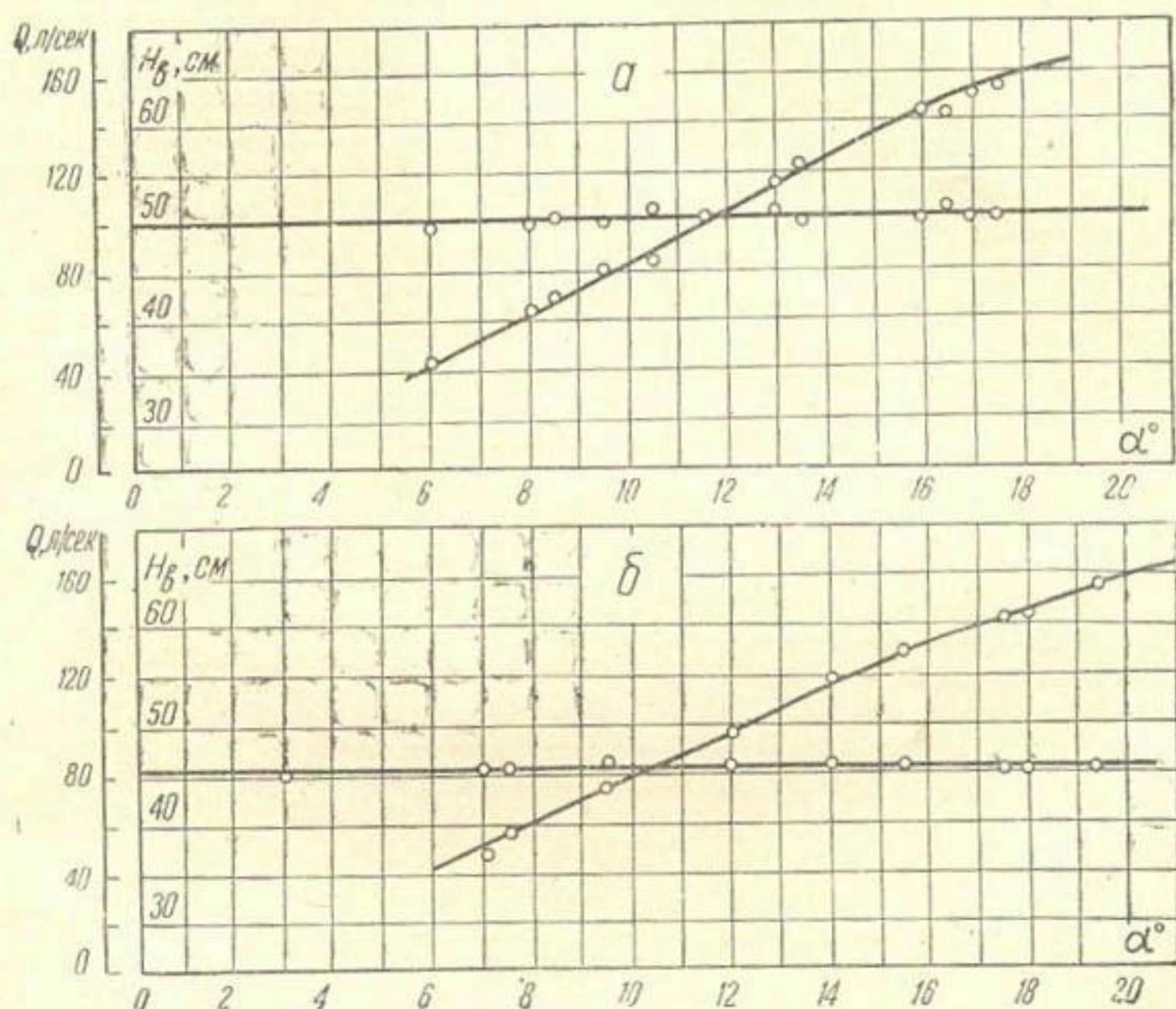


Рис. 7. График поддержания горизонта верхнего бьефа автоматом с поплавком в колодце:

a — для $H_g = 50$ см, b — для $H_g = 45$ см.

Добиться сведения фильтрации к минимуму можно лишь в результате соответствия правильно выполненного очертания полотнища затвора профилю лотка. Но так как технические возможности и производственные допуски заводов, изготовлявших лотки и затворы, не позволяли выполнить этого, встал вопрос о разработке рационального типа уплотнений.

Испытывали два типа уплотнений: у затвора-автомата типа «Нейрик» — резиновую полосу, закрепленную по контуру обшивки затвора, и у автомата с поплавком в отдельном колодце — цементную наклейку на лотке, с канавкой, прорезанной полотнищем затвора.

Полоску резины, толщиной 3 мм, закрепляли по контуру затвора металлическими планками и болтами М-6. Отверстия, сделанные в резине, — больше диаметра стержня крепежных болтов; это позволяет при закреплении передвигать резиновую полосу, прижимая ее плотно к стенке лотка. Испытание этого типа уплотнения показало, что оно мо-

жет работать удовлетворительно только тогда, когда зазоры между полотнищем затвора и лотком не превышают 1,5—2 см, в противном случае резиновая полоса деформируется и отгибается давлением воды. Изготовление этого типа уплотнения трудоемко, так как требует сверловки большого количества отверстий на полотнище затвора, пробивки отверстий в резиновой полосе, подгонки по месту при установке затвора и т. д.

Второй тип уплотнения — цементная наклейка по профилю лотка с канавкой, прорезанной полотнищем затвора.

Основной трудностью при создании уплотнения этого типа является плохое сцепление обычного цементного теста с бетоном лотка. Быстрая потеря влаги из раствора в результате испарения и капиллярного отсоса основным бетоном приводит к растрескиванию и разрушению наклейки и по этой причине обычные песчано-цементные растворы не могут быть приняты для создания уплотнения этого типа.

Научным сотрудником строительной лаборатории ИВПиГ АН УзССР Б. И. Минкевичем для ремонта и штукатурки облицовок гидротехнических сооружений, где требуется прочное сцепление наносимого слоя с основным бетоном, было предложено применять цементные растворы, приготовленные на основе водного раствора хлористого кальция. Были проведены опыты, в которых полностью подтвердилась возможность устройства уплотнения для затворов на лотках с помощью подобного раствора. У наклейки, нанесенной пластичным раствором с хлористым кальцием, наблюдалось прочное сцепление с основным бетоном лотка, отсутствие трещин, морозостойкость.

Для устройства уплотнения с помощью цементной наклейки по профилю лотка с канавкой, прорезанной полотнищем затвора, рекомендуется готовить жидкий раствор пластичной концентрации состава 1 : 1. Цемент применяется обычный, марки 400.

По рекомендации Б. И. Минкевича, лучшими свойствами обладает пластичный раствор, приготовленный на водном растворе хлористого кальция удельного веса 1,14.

Место лотка, куда будет наноситься наклейка, очищают от пыли и грязи, увлажняют водой и на него наносят приготовленный раствор. Кромку полотнища затвора смазывают густым маслом, затвор опускают и прижимают к порогу. Необходимо, чтобы затвор был прочно закреплен на лотке.

Размеры фильтрации через уплотнение, выполненное цементной наклейкой с канавкой, в опытах колебались от 0,8 до 1,5 л/сек при изменении горизонта верхнего бьефа от 40 до 50 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

А. При натурных исследованиях затвора типа «Нейрпик» установлено, что поднятие нижней кромки поплавка на середину обшивки затвора привело только к уменьшению, а не к полной ликвидации сил подсоса. Погрешность в поддержании горизонта $H_v = 50$ см для автомата, у которого веса регулировочных грузов подсчитаны без учета влияния сил подсоса, а нижняя кромка поплавка находится на середине высоты обшивки, достигает 10—12%, что при наличии автоматов расхода, установленных на отводах, вполне допустимо.

Положительными сторонами исследованной конструкции гидравлического автомата верхнего бьефа с поплавком на обшивке затвора являются простота конструкции, отсутствие электрических и механических приводов, небольшая стоимость, возможность массового промышленного изготовления.

Однако у данной конструкции имеются и отрицательные стороны.

1. В связи с тем, что элемент, управляющий движением затвора (поплавок и его нижняя кромка), находится в зоне динамического воздействия потока воды, неравномерно изменяющегося по величине, возникают силы подсоса, искажающие характер изменения выталкивающих моментов поплавка.

Силы подсоса не остаются постоянными в процессе работы затвора и зависят от горизонтов верхнего бьефа, углов открытия затвора и пропускаемых расходов. Поэтому максимальный угол открытия затвора не достигает теоретического, получаемого расчетным путем, что снижает его пропускную способность. Наличие срывных сил подсоса приводит к раскачиванию и опрокидыванию затвора, а поэтому в обязательном порядке необходимо устанавливать демпфирующие устройства, способные гасить колебания.

2. Наличие поплавка на лобовой стенке затвора и невозможность совмещения его нижней плоскости с кромкой затвора приводит к тому, что щитовое отверстие может быть открыто только на $1/3$ высоты затвора. Это вызывает уменьшение пропускной способности и как следствие — увеличение габаритов затвора.

Исследованную конструкцию гидравлического автомата верхнего бьефа можно применить на каналах в качестве перегораживающего сооружения, если не требовать особой точности в поддержании горизонтов в диапазоне изменений открытия затвора от 2° до $10-12^\circ$. В обязательном порядке необходимо затворы снабжать упорами, препятствующими опрокидыванию, и демпфером, гасящим возникающие колебания. Максимальный угол открытия для исследованных лотковых автоматов (из условия устойчивой работы) не должен превышать $10-12^\circ$.

Для уменьшения погрешности в поддержании горизонта затворами, отрегулированными без учета динамических сил, необходима дополнительная корректировка грузами, помещенными на обшивке затвора или на противовесе.

Б. Конструкция автомата верхнего бьефа с поплавком в отдельном колодце обладает рядом положительных свойств, из которых необходимо отметить следующие.

1. Простота конструкции, отсутствие лекал, улиток, шкивов, различного рода дифференциальных механизмов и других деталей, усложняющих конструкцию большинства предложенных гидравлических автоматов, имеющих больше теоретический, нежели практический интерес.

2. Весьма точное поддержание заданного горизонта.

3. Простой процесс перерегулировки на другие горизонты изменением веса контргруза или противовеса, причем каждый отдельный груз может иметь маркировку для определенной отметки горизонта верхнего бьефа. Изменением количества подобных грузов достигается регулирование ряда отметок верхнего бьефа.

4. Простота и точность результатов статического расчета подобных автоматов.

5. Возможность полного открытия щитового отверстия благодаря максимальному углу подъема для предложенной конструкции. Это достигается заглублением дна колодца и кромки поплавка ниже порога сооружения при закрытом положении затвора. В этом случае благодаря наличию запаса подъемной силы поплавок затвор может пропускать аварийные расходы.

6. Достижение устойчивости работы автомата благодаря выносу

поплавка в отдельный колодец и ликвидации динамического воздействия потока воды на нижнюю плоскость поплавка.

7. Большой диапазон пропускных расходов при точном поддержании горизонта. Расходы меняются от 0, при закрытом положении затвора, до максимальных, которые может пропустить канал.

8. Возможность изготовления металлоконструкций автоматов в заводских условиях большими партиями.

9. Универсальность конструкции автомата, позволяющая применять ее в качестве автомата нижнего бьефа путем простого переноса поплавка, управляющего движением затвора, в колодец, сообщающийся с нижним бьефом сооружения.

В целях получения меньших амплитуд колебаний затвора при изменениях транзитного расхода рекомендуется размеры колодца назначать такими, чтобы получить небольшие зазоры между поплавком и стенками колодца. В этом случае поплавок работает как плунжер, эффективно гася вынужденные колебания затвора.

При лотковой системе каналов с установкой их на эстакадах, колодец для поплавка делается в виде металлического резервуара с отверстием в дне для очистки от наносов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пеплов Э. Э. «Гидротехника и мелиорация», 1958, № 9.
2. Гартунг А. А. Лабораторные исследования моделей гидравлических автоматов верхнего бьефа типа фирмы «Нейрпик», В сб. «Вопросы гидротехники», вып. 3, Ташкент, АН УзССР, 1961.
3. Гартунг А. А. Сегментный автомат верхнего бьефа с поплавком в боковом колодце, В сб. «Вопросы гидротехники», вып. 4, Ташкент, АН УзССР, 1962.
4. Congress an Irrigation and Drainage, San-Fransisco, 1957.

А. С. СТАРКОВСКИЙ, А. В. СОКОЛОВ

ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛО-ИМПУЛЬСНОГО ТЕЛЕИЗМЕРЕНИЯ НА ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ ПУНКТАХ

Учет на ирригационных системах нужен главным образом для определения общего количества израсходованной на орошение воды как по системе в целом, так и по отдельным ее отводам, для чего необходимо ежедневно и многократно определять секундный расход воды. Такое определение обычно производят три раза в сутки и наблюдаемый расход принимают как среднесуточный. Но этот способ является лишь схемой, к тому же не учитывающей целого ряда факторов и не обеспечивающей достаточной точности и полноты учета.

Кроме того, существующие методы учета и распределения воды не дают возможности оперативно и четко выполнять планы водопользования, причем учет ведется довольно примитивными средствами — в основном при помощи реек.

Оперативность работы при эксплуатации систем обеспечивает диспетчерская служба. Но она оснащается лишь телефонной связью со своими эксплуатационными участками и не обладает достаточной возможностью контроля. Результаты происходящих в системе изменений поступают к диспетчеру несвоевременно и фактически не могут быть им использованы для оперативного и эффективного управления.

Для превращения оросительных систем в четко работающие водохозяйственные предприятия необходимо качественно изменить диспетчерскую службу путем ее автоматизации. Поскольку ирригационные объекты находятся на значительном расстоянии как друг от друга, так и от места, из которого необходимо управлять этими объектами, мы рассмотрим один из видов автоматизации — телемеханику.

Одним из основных средств телемеханики является телеизмерение, т. е. передача на расстояние значений величин, характеризующих режим работы контролируемых объектов.

Применение телеизмерения для гидрометрических работ позволит:

а) осуществлять контроль за процессом водозабора и распределения воды без наличия на объектах постоянного обслуживающего персонала;

б) производить непрерывный учет, который невозможно осуществлять с помощью лишь штата наблюдателей;

в) вести учет более экономично, хотя бы за счет сокращения огромного количества наблюдателей;

г) делать учет воды более оперативным, так как при соответствующей конструкции сооружений и аппаратуры значительно сокращается процесс обработки данных наблюдений.

Итак, мы видим, что телеизмерение — это специальная область измерительной техники, охватывающая методы передачи на расстояние значений измеряемых величин, которые при этом преобразуются в другие вспомогательные величины, более удобные для передачи на большие расстояния.

По общепринятой классификации все телеизмерительные устройства по характеру величин, передаваемых по каналу связи, разбиваются на две группы:

1) телеизмерительные системы ближнего действия (интенсивности), в которых измеряемая величина преобразуется в эквивалентные значения тока или напряжения, изменяющиеся вместе с изменением измеряемой величины;

2) телеизмерительные системы дальнего действия (импульсные или частотные), в которых измеряемая величина преобразуется в импульсы тока и напряжения или в переменный ток меняющейся частоты.

Различные ирригационные объекты предъявляют свои особые требования к системам телеизмерения в зависимости от тех или иных специфических условий работы этих объектов. Так, основные требования, которые гидрометрические объекты предъявляют к системам телеизмерения, можно примерно сформулировать следующим образом.

1. Система телеизмерения должна работать без использования электроэнергии на месте. Питание всей аппаратуры должно быть централизованным, т. е. с диспетчерского пункта.

2. Поскольку в некоторых случаях на самом диспетчерском пункте возможны перебои в электроснабжении, система телеизмерения должна работать только на постоянном токе, т. е. не иметь кодов с переменными составляющими.

3. Датчик телеизмерения должен обладать следующими свойствами:

а) легко сочленяться с различными ирригационными первичными приборами (поплавок уровнемера, расходоуказатель, расходограф, лимниграф и т. д.);

б) иметь достаточную чувствительность к малым моментам первичных приборов;

в) обладать допустимой (не более 1%) погрешностью передачи;

г) выполняться в виде легко заменяемых блоков.

4. Телемеханические устройства должны быть минимально простыми по конструкции и максимально удобными в эксплуатации.

5. Устройство телеизмерения должно легко вписываться в различные системы телевыбора и при необходимости работать по существующим телефонным линиям, не мешая работе последних.

6. При сравнительно небольших размерах гидрометрических колодцев, присутствии водяных паров и сырости необходимо, чтобы аппаратура телеизмерения была минимальной по габаритам, имела хорошую герметизацию и удобный доступ до отдельных узлов при их наладке и ремонте.

7. Поскольку количество датчиков и расстояние между ними может быть неодинаковым для различных оросительных каналов, система телеизмерения должна иметь такое приемное устройство, которое было бы одинаково простым для подключения как одного, так и нескольких датчиков, расположенных от него в пределах от 1 до 50 км.

Так как параметры линии связи и изменение их от различных условий в той или иной степени влияют на величину передаваемого тока или напряжения, что может довести потребность до недопустимых значений, то дальность телеизмерительных систем интенсивности составляет не более 6—8 км. Такие расстояния не удовлетворяют требо-

ваниям гидрометрических пунктов и такие системы телеизмерения могут найти практическое применение только в пределах крупных гидротехнических узлов или объектов, расположенных близко от диспетчерского пункта.

Для гидрометрических объектов наиболее целесообразно применять импульсное или частотное телеизмерение, которое осуществляется по одному из следующих методов: число-импульсному, кодо-импульсному, время-импульсному и частотному.

Мы рассмотрим число-импульсный метод, характерной чертой которого является то, что значение измеряемой величины выражается числом N посылаемых в канал связи импульсов, и каждый импульс выражает определенную долю измеряемой величины.

В число-импульсном методе каждый импульс соответствует вполне определенному значению измеряемой величины, которая может быть выражена как цена импульса

$$b = \frac{A_n}{N_n},$$

где A_n — номинальное значение измеряемой величины;

N_n — соответствующее этому значению число импульсов.

Если значение измеряемой величины лежит между двумя импульсами, то неизбежна погрешность дисперсности, наибольшее значение которой составляет

$$\Delta A \leq \frac{b}{2} = \frac{A_n}{2N_n}.$$

При число-импульсном телеизмерении существует два способа передачи импульсов по линии связи:

а) при изменении измеряемой величины на цену импульса в линию посылается только один импульс (работа происходит по принципу добавления импульса);

б) при изменении измеряемой величины на цену импульса в линию посылается вся серия импульсов, выражающая измеряемую величину. В этом случае ошибка, вызванная потерей импульса, будет скорректирована при очередной передаче.

Первый способ передачи требует наличия постоянно включенного датчика и приемника, т. е. для каждого передатчика необходимы отдельная линия и отдельный приемный аппарат. Кроме этого очевидно его недостатка, у такого способа передачи низка и надежность телеизмерения. Если, например, один из импульсов по каким-либо причинам не будет воспринят приемным устройством, то в дальнейшем значение измеряемой величины будет передаваться с ошибкой на цену импульса.

В связи с этими недостатками в практике обычно применяют число-импульсные устройства, основанные на втором способе передачи. Примером такого устройства может быть число-импульсный гидрометрический телеизмеритель (ЧИГТ-61), опытно-производственный образец которого разработан и сконструирован в лаборатории автоматизации гидромелиоративных систем ИВПиГ АН УзССР (рис. 1). Он является дальнейшей модификацией аналогичного устройства (дальнепередатчик уровня), предложенного ранее Д. П. Колодкевичем и А. В. Соколовым.

Устройство в целом (рис. 2) состоит из датчика (генератора) импульсов, приемника и блока питания (последний находится на диспетчерском пункте). Основой передающего и приемного устройства служат релейные двигатели, состоящие из электромагнита, связанного с поворачиваемой осью механически через храповой механизм. Такие релейные двигатели отличаются от других (синхронных и т. д.)

импульсных двигателей тем, что воздействие на вал обеспечивается не магнитным, а механическим путем, т. е. вместо эластичной связи введена жесткая.

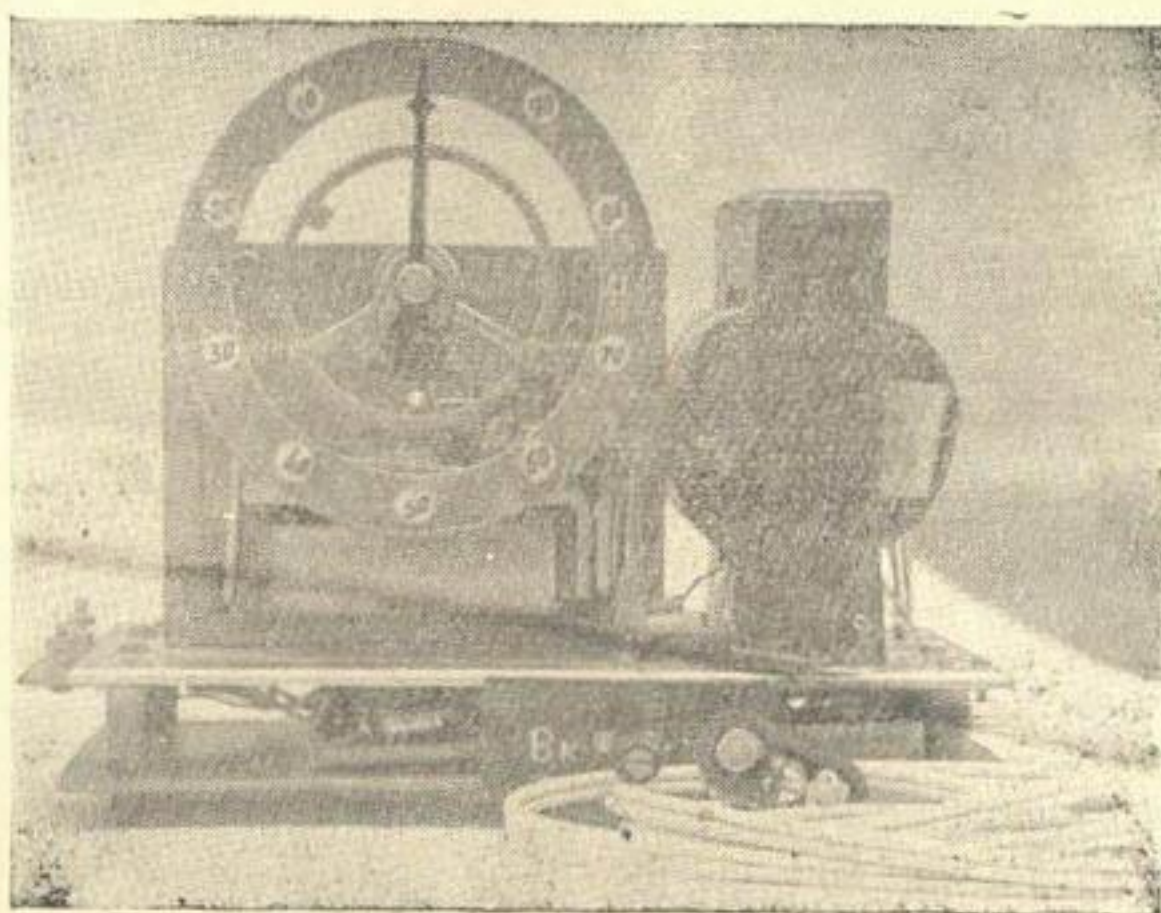


Рис. 1. Общий вид приемника телеизмерения с блоком питания.

Поскольку в данном устройстве приемник и датчик взаимозаменяемы, то можно рассмотреть работу только последнего.

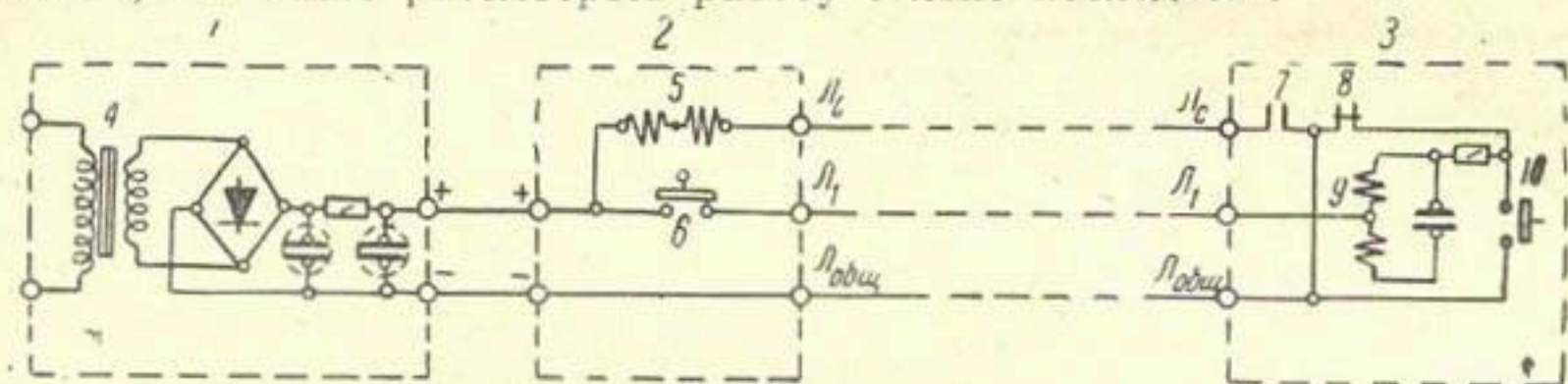


Рис. 2. Принципиальная схема телеизмерительного устройства:

1—блок питания, 2—приемник ТИ, 3—датчик ТИ, 4—силовой прибор; 5—приемное реле импульсов, 6—ключ управления, 7—нормально открытый контакт РИ, 8—нормально закрытый контакт РИ, 9—реле импульсов (РИ), 10—блокированный контакт датчика.

После включения питания в схему электрический ток, проходя через электромагнит датчика 7 (в качестве электромагнита используется стандартное реле типа РКН), заставит его сработать (рис. 3). Якорь 1 электромагнита, притягиваясь толкателем 6, передвинет импульсную шестеренку 2 на один зубец, замкнет нормально открытый контакт (посылается в линию связи измерительный импульс) и разомкнет нормально закрытый контакт (разрывается цепь питания).

В начале работы собачка 5 попадает во впадину зуба, что предотвращает возврат импульсной шестерни в первоначальное положение.

Процесс работы датчика повторяется до тех пор, пока штифт 3, укрепленный на импульсной шестерне, не замкнет контакты блокировки электромагнита. Работа датчика как генератора при этом прекращается, и якорь остается в притянутом положении.

Штифт 3, также воздействуя на выступ 5 собачки, выводит последнюю из зацепления с импульсной шестерней.

Таким образом, при работе датчика как генератора число посылаемых импульсов пропорционально углу поворота $\Delta\alpha = \frac{360^\circ}{2n}$, где n — число зубцов импульсной шестерни.

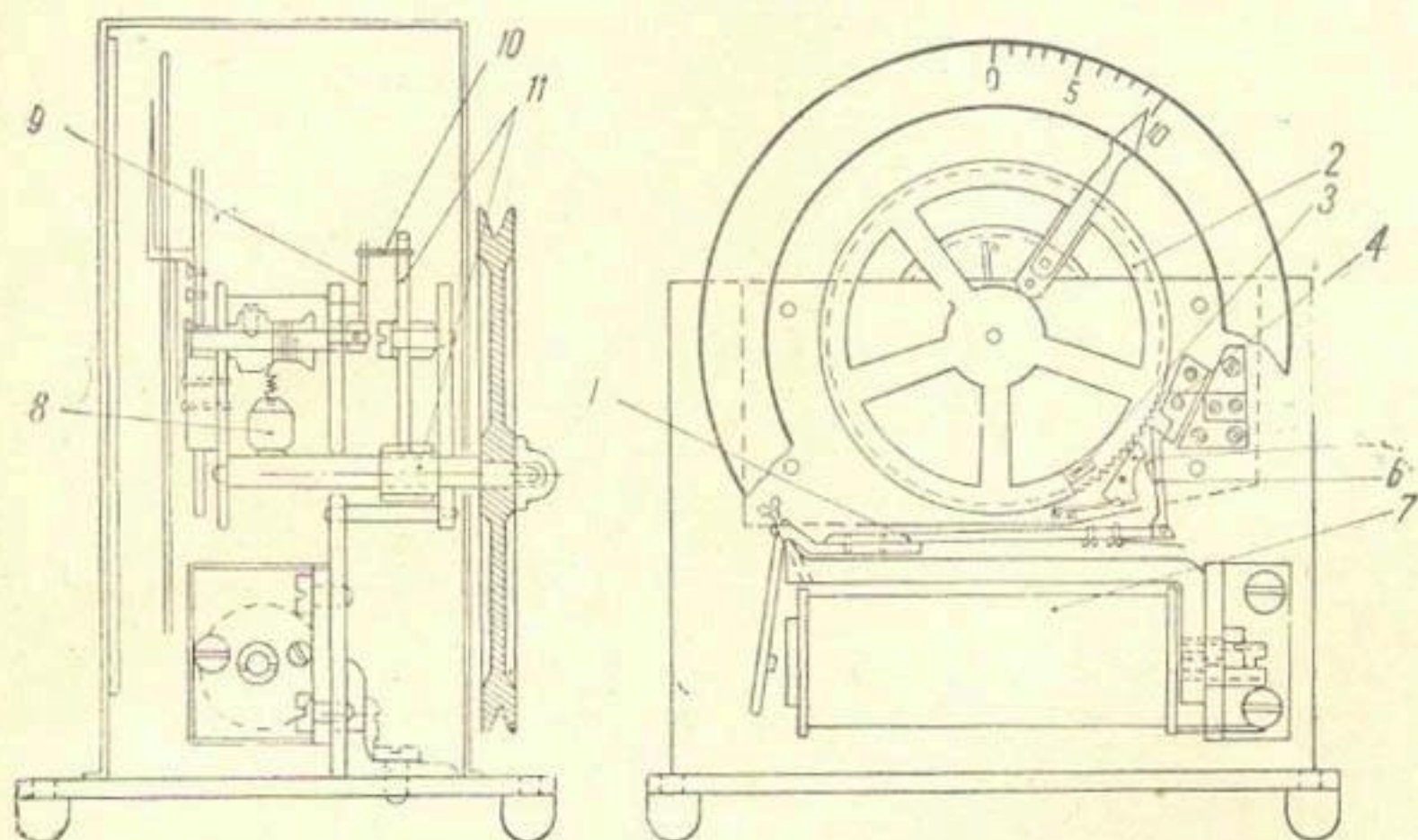


Рис. 3. Общий вид датчика телеизмерительного устройства ТУИГ-51:

1—якорь электромагнита, 2—импульсная шестерня, 3—штифт, 4—контакт блокировки электромагнита, 5—собачка, 6—толкатель, 7—электромагнит датчика, 8—тяжесть для возврата, 9—штифт, 10—лапка, 11—масштабный узел.

Притянутое положение сохраняется до момента выключения питания всей системы на диспетчерском пункте. Тогда якорь вместе с толкателем отойдет назад и окажется выше выступов зубцов импульсной шестерни. Последняя под влиянием тяжести 8 начнет возвращаться в первоначальное положение до тех пор, пока ее штифт 9 не дойдет до лапки 10, наглухо прикрепленной к оси, которая через масштабный узел непосредственно связана с соответствующим первичным ирригационным прибором.

Относительная приведенная погрешность такого датчика определяется следующим выражением:

$$\Delta A \% \leq \pm \frac{b/2}{A_n} 100\% = \pm \frac{100\%}{2N_n}.$$

Погрешность вызывается тем, что передается не непрерывный ряд значений измеряемой величины, а какое-то конечное ее значение, и, очевидно, что чем больше число передаваемых импульсов N_n , тем меньше относительная погрешность телеизмерения.

Поскольку устройство ЧИГТ-61 имеет малый момент, оно легче сочетается с различными первичными ирригационными приборами (поплавковым устройством, расходоуказателем ДРС-60, расходографом, лимниграфом и т. д.) и предназначено для передачи показаний уровня или расхода с гидрометрических пунктов оросительных каналов. Кроме того, это устройство можно применять совместно с различными схемами телевыбора (частотное устройство ТЧР-61, БДК-57 и т. д.).

Прежде чем решать вопрос о привязке телеизмерительного устройства к той или иной системе телевыбора, необходимо определить общие задачи телемеханизации данной ирригационной системы. Если, например, вопрос стоит только о том, что необходимо осуществлять на данных объектах лишь контроль за уровнем или расходом воды и нет надобности в телеуправлении на них, то систему ЧИГТ-61 целесообразно применять совместно со схемой выбора типа БДК-57.

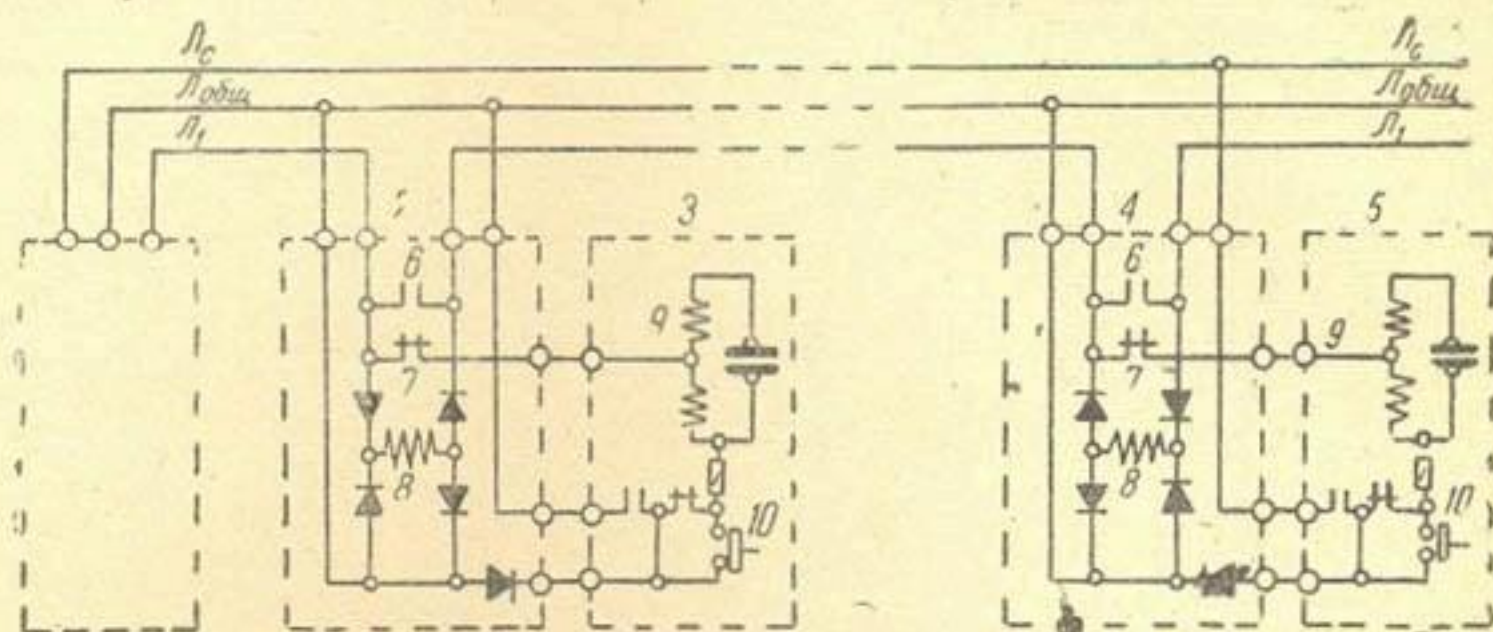


Рис. 4. Принципиальная схема выбора устройства ТУИГ-61:

1—диспетчерский пункт, 2—блок выбора объекта № 1, 3—датчик измерения объекта № 1, 4—блок выбора объекта № 2, 5—датчик измерения объекта № 2, 6—нормально открытый контакт РВ, 7—нормально закрытый контакт РВ, 8—реле выбора (РВ), 9—реле импульсов (РИ), 10—блокировочный контакт датчика.

В указанном телемеханическом устройстве для селективного выбора объекта принят метод релейного распределенного переключателя. От обычных релейных распределителей такие релейные цепочки отличаются тем, что счетчиками в них являются линейные реле, которые находятся в различных пунктах, расположенных вдоль линии.

Релейная цепочка работает от импульсов постоянного тока чередующейся полярности, посылаемых с диспетчерского пункта. Характерной чертой такого метода является исключительная простота, ибо на каждом объекте измерения мы будем иметь всего одно добавочное реле выбора.

На рис. 4 показана привязка датчика телеизмерения к схеме выбора, основанного на указанном выше принципе, причем за основу взята широко применяемая на железнодорожном транспорте схема БДК-57.

В тех же случаях, где помимо телеизмерения и контроля предусматривается и осуществление телеуправления, при выборе системы телеизмерения необходимо учитывать технико-экономические соображения. Так, например, при применении частотного устройства ТЧР-61, видимо, более целесообразно вместе с ним использовать телеизмерительные устройства типа ВСТ или ТПУ.

Там же, где это окажется экономически целесообразным, можно применить ТЧР-61 совместно с ЧИГТ-61, для чего потребуется предусмотреть прокладку дополнительного канала связи. Совместная их привязка не требует никаких изменений в схеме выбора на измеряемом объекте.

Описанное устройство телеизмерения в настоящее время прошло лабораторные испытания и привязывается к различным первичным ирригационным приборам.

Для проведения широких производственных испытаний комплект устройства установлен на головном сооружении канала Калькауз. В 1963 г. предусматривается осуществление комплексной проверки указанного устройства совместно с различными схемами выбора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ганкин М. З. Автоматизация оросительных систем. Доклад на I международном конгрессе ИФАК по автоматическому управлению, М., 1960.
2. Жданов Г. М. Телеизмерение, ч. I, М., ГЭИ, 1952.
3. Колодкевич Д. П. Автоматическая передача и прием урсвей и расходов воды на расстоянии, Труды САНИИРИ, вып. 59, Ташкент, Сельхозгиз, 1940.
4. Малов В. С. Телемеханика в энергетических системах, изд. 2-е, М., ГЭИ, 1955.
5. Френке А. В. Телеизмерение, М., ГЭИ, 1958.
6. Ярцев Б. Н. Эксплуатационная гидрометрия, Сельхозгиз, М., 1951.
7. Быстродействующий диспетчерский контроль БДК-ЦНИИ-57, «Автоматика, телемеханика и связь», 1961, № 2.

К. А. АВЛЯНОВА

СРЕДСТВА АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

В настоящее время некоторые колхозы Узбекистана получают очень низкую урожайность хлопчатника — 10—15 ц/га, т. е. ниже средних урожаев по республике, тогда как подавляющее большинство колхозов получает по 35—40 ц хлопка с 1 га.

Одна из основных причин низких урожаев — неблагоприятное мелиоративное состояние (засоленность и заболоченность) земель.

Как известно, в Средней Азии с древних времен грунтовые воды отводили при помощи горизонтального дренажа. Однако не при всех условиях залегания грунтовых вод горизонтальный дренаж обеспечивает эффективный отвод грунтовых вод и рассоление почвы. Это хорошо известно по опыту освоения земель Голодной степи.

На основании исследования гидрогеологических бассейнов верхнего яруса Узбекистана Н. М. Решеткина выделила перспективные районы применения вертикального дренажа [9].

В результате изучения вопроса сотрудниками отдела мелиорации ИВПиГ АН УзССР подтвердились экономичность и эффективность развития вертикального дренажа в некоторых районах Узбекистана. В связи с этим обстоятельством в 1956 г. было решено запроектировать и построить вертикальные скважины в ряде районов Узбекистана.

В настоящее время уже запроектированы и частично построены скважины вертикального дренажа в Голодной степи (в совхозе «Пахта-Арал», Шурузякском и Мирзачульском массивах), в Кировском районе Ферганской области и Бухарской области.

Откачка грунтовых вод в указанных районах позволяет не только решить мелиоративную задачу, но и получить дополнительную оросительную воду.

Вертикальный дренаж в последние годы внедряют и в других республиках. Скважины вертикального дренажа построены в Колхидской низменности и Армении, в Тульской области для осушения шахтных полей, в городах Пролетарске и Чирчике; в зоне Кайраккумского водохранилища построены скважины для ограждения населенных пунктов от подтопления.

Большое распространение получили вертикальные скважины для целей водоснабжения. Такие скважины построены в Туркмении, в УзССР, в Тульской, Подольской и других областях.

В настоящее время средства автоматики и телемеханики успешно внедряются на вертикальных скважинах в водопроводной сети и нефтяных промыслах, а в последние годы в связи с проектированием и

строительством скважин вертикального дренажа в основном проектными организациями прорабатывались вопросы внедрения средств автоматики и телемеханики на скважинах вертикального дренажа.

В 1959—1961 гг. сотрудники лаборатории автоматики и телемеханики занимались конструированием телемеханических устройств и датчиков для вертикальных скважин. Научное изучение этого вопроса начато в лаборатории в 1962 г.

В настоящей работе обобщен опыт внедрения средств автоматики и телемеханики в водопроводной системе и нефтяных скважинах в СССР и за границей, даны характеристика скважин вертикального дренажа и запроектированного на них оборудования и некоторые рекомендации по проектированию и внедрению этих средств для различных типов скважин¹.

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ НА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СКВАЖИНАХ

В РСФСР около 300 городов получают водопроводную воду из артезианских скважин, а в некоторых городах имеется по 20, 30, 40 и более скважин.

В СССР внедрение средств автоматики и телемеханики на вертикальных скважинах водопроводной системы и нефтепромыслах началось примерно с 1950 г. В тресте «Водоканализация» г. Подольска аппаратуру собирали и монтировали работники по эксплуатации водопроводных сооружений. Академия коммунального хозяйства осуществляла консультацию и техническое руководство этими работами.

В 1950 г. был объявлен конкурс на лучшую схему автоматизации насосных установок вышеупомянутых скважин. Такая схема была предложена молодыми инженерами, которые сами смонтировали ее на скважине и в результате эксплуатации значительно упростили. Большим затруднением было отсутствие квалифицированных специалистов и материалов. В настоящее время автоматизировано, телемеханизировано и телеуправляется из диспетчерского пункта 85% сооружений водопровода г. Подольска. Благодаря этому эксплуатационный штат сократился на 25 чел., экономия электроэнергии составила 10—15%, повысилась культура эксплуатации оборудования. Схемы устройств автоматики и телемеханики, использованные на этих скважинах, довольно простые и работают надежно.

Большинство скважин оборудовано непогружными насосами АТН и АП. Но в последние годы внедряются и погружные насосы, причем часть станций одноподъемные, а часть — двухподъемные. Те насосные станции, на которых находится диспетчерский пункт (ДП), управляются дистанционно. Насосы первого подъема двухподъемных станций управляются автоматически в зависимости от уровня воды в резервуарах. Насосы же второго подъема телеуправляются из ДП. Одноподъемные станции заперты на замок и также телеуправляются из ДП.

На водопроводных скважинах имеется два типа насосных станций: работающие постоянно-непрерывно и работающие периодически по мере надобности.

Характер управления двигателями указанных типов насосных установок несколько различен.

¹ Из-за ограниченности объема данной статьи часть материалов, обобщающих опыт проектирования и конструирования средств автоматики и телемеханики для скважин вертикального дренажа совхоза «Пахта-Арал», в Мирзачульском и Шурузьякском массивах, будет опубликована отдельно.

Характеристика измерительных устройств, применяемых при автоматизации вертикальных скважин

Наименование	Основные элементы	Принцип действия	Где применен или рекомендуется к применению
Телеуровнемер потенциометрический	1. Датчик с упругим чувствительным элементом (сильфоном) 2. Блок питания с электромагнитным стабилизатором напряжения 3. Вторичный показывающий прибор — милливольтметр с профилированной шкалой МПБ-46 или регистрирующий прибор (самописцы типа „Валдай“, „СМЗ“ и др.)	В скважину ниже водоприемной части насоса спускается электрический датчик с сильфоном и реостатом. Давление воды через сильфон передается на заключенную в нем пружину, чем достигается перемещение ползунка (как в обычном реостате) соединенным по схеме потенциометра.	На вертикальных скважинах и наблюдательных колодцах комбината „Тулауголь“, на водопроводных скважинах гг. Подольска, Калининграда и др.
Турботахометрический датчик расхода системы АКХ РСФСР	1. Гидромеханическая часть (включает чувствительный элемент — многолопастную турбинку). 2. Электрический генератор (до флянца), трехфазная синхронная машина 3. Указывающий прибор — миллиамперметр с профильной шкалой типа МПБ-46	Турбинка (вертушка) с винтовыми крыльями вращается на горизонтальной оси. Число оборотов прямо пропорционально расходу воды. Вращение турбинки посредством червячной передачи передается счетчику, отмечающему количество воды, проходящей через водомер.	То же
Поплавковые датчики	1. Поплавок с противовесом 2. Контактное устройство 3. Приемный прибор	В резервуары, в которых контролируется уровень, погружается поплавок, подвешенный на гибкой нити, перекинутый через блок и уравновешенный грузом. На разных точках гибкой нити укреплены две переключающие шайбы, которые при предельных уровнях жидкости в резервуаре поворачивают коромысло контактного устройства и замыкают соответствующие контакты, которые, в свою очередь, замыкают соответствующие цепи управления насосного агрегата, а также сигнализируют о достижении предельных уровней воды	На насосных станциях, качающих воду в резервуар или другую емкость. Для измерения горизонтов воды, сигнализации о предельных горизонтах или как чувствительный элемент авторегулятора

Наименование	Основные элементы	Принцип действия	Где применен или рекомендуется к применению
Электродные датчики	1. Телефонное электромагнитное реле 2. Электроды стальной или латунный стержень) 3. Приемный прибор	Основаны на электропроводимости жидкости. Электроды погружаются на глубину, при которой должно произойти включение или отключение датчика	При наличии переменного тока. Для сигнализации предельных горизонтов или как чувствительный элемент авторегулятора
Датчик давления	1. Электроконтактные манометры 2. Блок питания 3. Приемный прибор	Электроконтактные манометры обычно имеют два неподвижных контакта — левый, замыкающий при давлении ниже величины, на которую он установлен, и правый, замыкающий при давлении, превышающем установленную для него величину. Стрелка имеет подвижной контакт	Для определения производительности насоса
Датчик контроля за заливкой насоса	1. Мембранный датчик 2. Указывающий прибор	Реле устанавливается на 0,3—0,5 м выше насоса. При наполнении насоса водой мембрана прогибается, поднимает шток и замыкает контакт. После снижения давления мембрана возвращается в исходное положение пружиной	При заливке с помощью вакуум-насоса
Программные датчики	1. Система электрических контактов 2. Часовой механизм 3. Миниатюрный электрический синхронный двигатель	Применяются при автоматизации периодически действующих насосных станций. Устройство автоматически включает и отключает электродвигатель насоса по заданной программе	На промыслах Ишанбайнефть для автоматического включения периодически действующих насосных агрегатов
Датчики времени	1. Термо-реле времени (биметаллические пластинки и контактные пружины) 2. Контакты в цепи управления	На одну биметаллическую пластинку намотана нагревательная обмотка. От тока, проходящего через обмотку, пластинка нагревается и, изгибаясь, замыкает или размыкает контакты в цепи управления Биметаллическая пластинка состоит из двух слоев, выполненных из различных металлов, которые наложены один на другой и плотно соединены	Для выдержки времени между отдельными операциями и для тепловой защиты при автоматическом управлении

Постоянно действующие скважины запускаются от контактных манометров. Периодически работающие скважины управляются программным датчиком. Те и другие скважины могут телеуправляться или телеконтролироваться из ДП. Зачастую применяется магистральный (кустовой) самозапуск скважин. Преимущество этого способа заключается в сокращении времени простоя скважин и резком снижении аварийности. В настоящее время более 10 тыс. глубиннонасос-

ных скважин Бакинского нефтепромысла имеют магистральный само-запуск, кроме того, все крупные установки с двигателем мощностью более 15 кВт оборудованы устройствами для индивидуального самопуска.

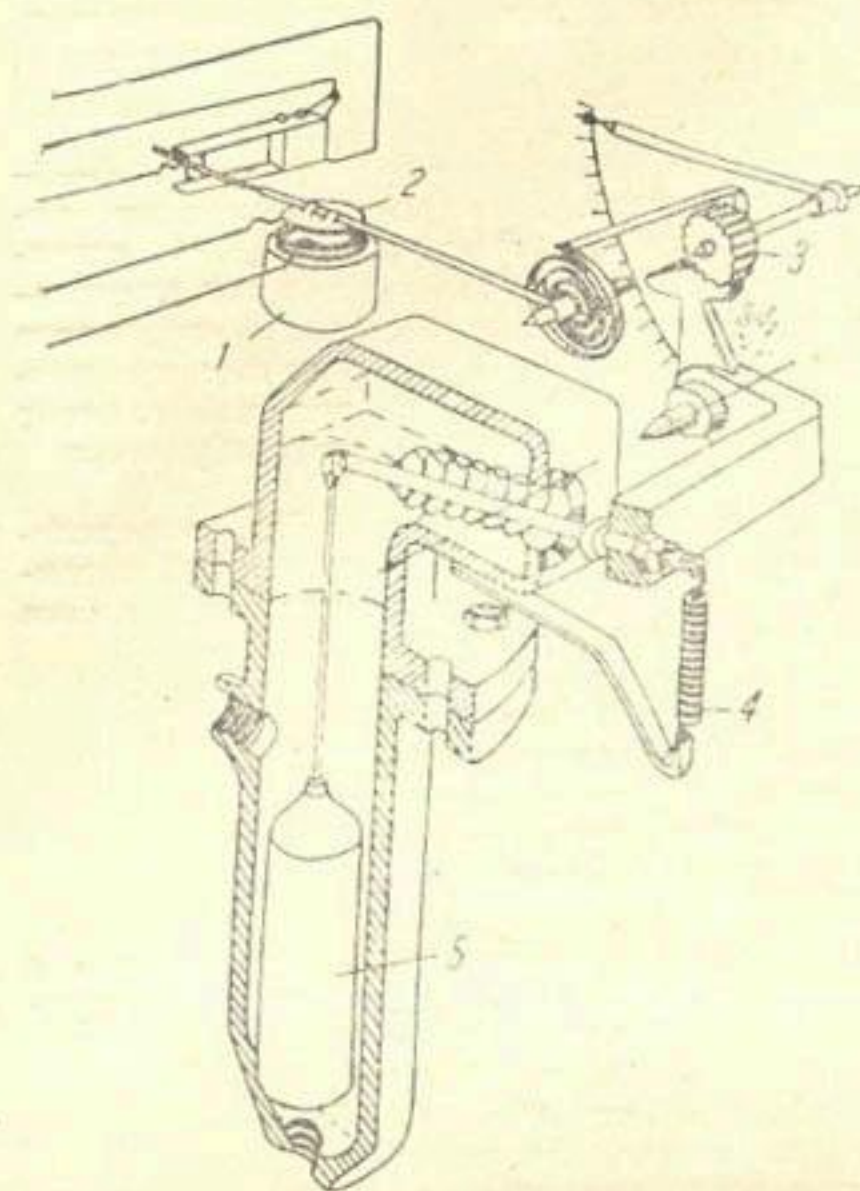


Рис. 1. Схема механического уровнемера жидкости:

1—постоянный магнит; 2—подвижная катушка; 3—трибо-секторный механизм; 4—пружина; 5—поплавок.

меры (рис. 5), принцип действия которых основан на использовании электропроводимости жидкости. Основными элементами этих уровнемеров являются обычные телефонные электромагнитные реле и электроды. Электрод представляет собой стальной или латунный стержень, погруженный на глубину, при которой должно произойти включение или отключение реле.

На рис. 5 показано расположение электродов для включения и отключения насосов при изменении уровня воды в резервуаре.

При подъеме уровня воды до верхнего электрода 1 происходит замыкание цепи катушки пускового реле (РП); оно срабатывает и своими контактами производит переключение в цепи управления. При снижении уровня воды до нижнего электрода 2 реле РП обесточивается, благодаря чему опять происходят соответствующие переключения в цепи управления и

А. Контрольно-измерительные приборы и датчики телеизмерения. На вертикальных скважинах применяются следующие виды измерительных приборов (табл. 1): 1) измеряющие уровень, скорость, расход, давление (в резервуаре, в водомерном участке или колене трубы, в сопле и т.д.); 2) контролирующие заливку насоса; 3) контролирующие смазку подшипников.

Наиболее простые измерительные приборы рассчитаны на местное показание. Имеется довольно большое число приборов, сконструированных в комплексе с теледатчиками.

На рис. 1 дана схема механического поплавкового уровнемера. На рис. 2, 3, 4 показаны поплавковые и электродные расходомеры с дистанционным показанием.

Наибольший интерес представляют электродные уровне-

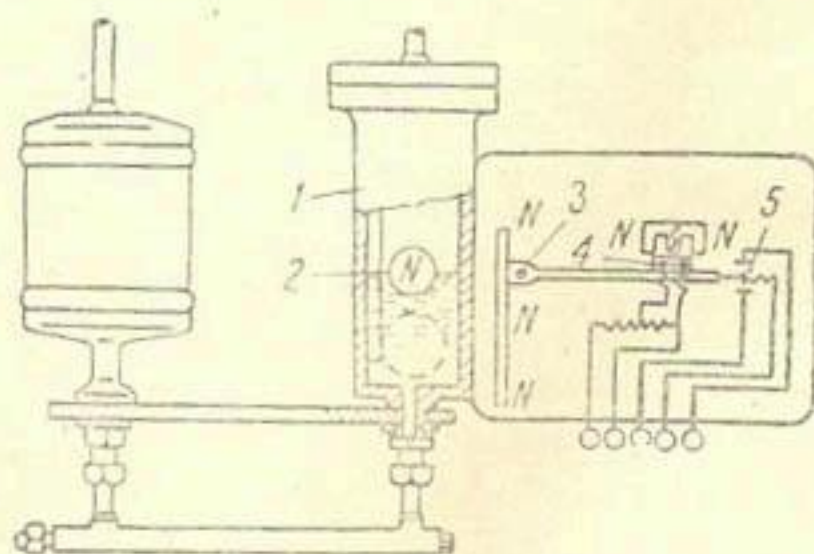


Рис. 2. Схема дистанционного расходомера:

1—стакан ртутного манометра; 2—цилиндрический магнит; 3—ось; 4—подвижная катушка; 5—контактная система.

возвращение реле в исходное положение. При постоянном токе электроды разрушаются вследствие электролиза, особенно в воде, содержащей примеси кислот или щелочей. Поэтому такие датчики должны работать на переменном токе.

Для передачи показаний колебания уровня в диспетчерский пункт можно использовать такой же датчик, но в этом случае число электродов должно быть увеличено, и их можно расположить горизонтально.

Несомненный интерес представляют (хотя и имеют существенные недостатки) получившие распространение скоростные турбинные водомеры (рис. 6), устанавливаемые на вставке, или сопла Вентури [5].

На рис. 7 изображен мембранный дифференциальный манометр ДМ, на рис. 8—вторичный прибор ЭПВД, используемые для дистанционного измерения давления (напора воды). Эти дифманометры индукционного типа с 1958 г. выпускаются заводом „Манометр“ в комплексе с регистрирующими или суммирующими приборами.

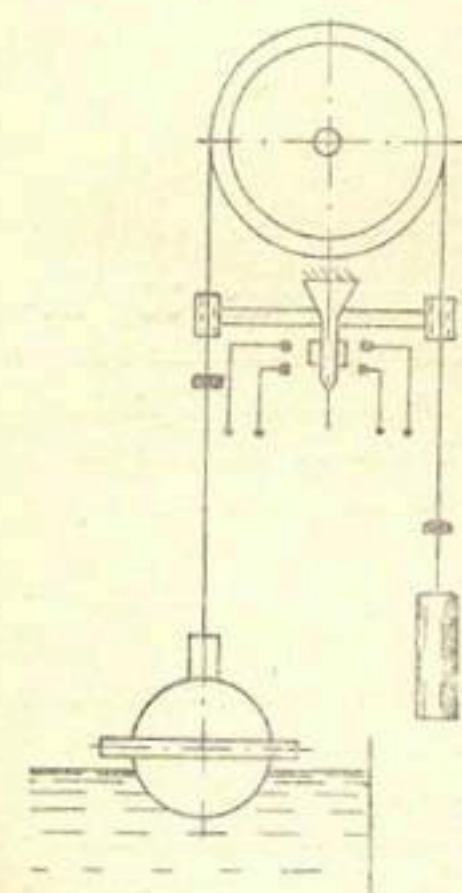


Рис. 4. Поплавковый датчик-уровнемер.

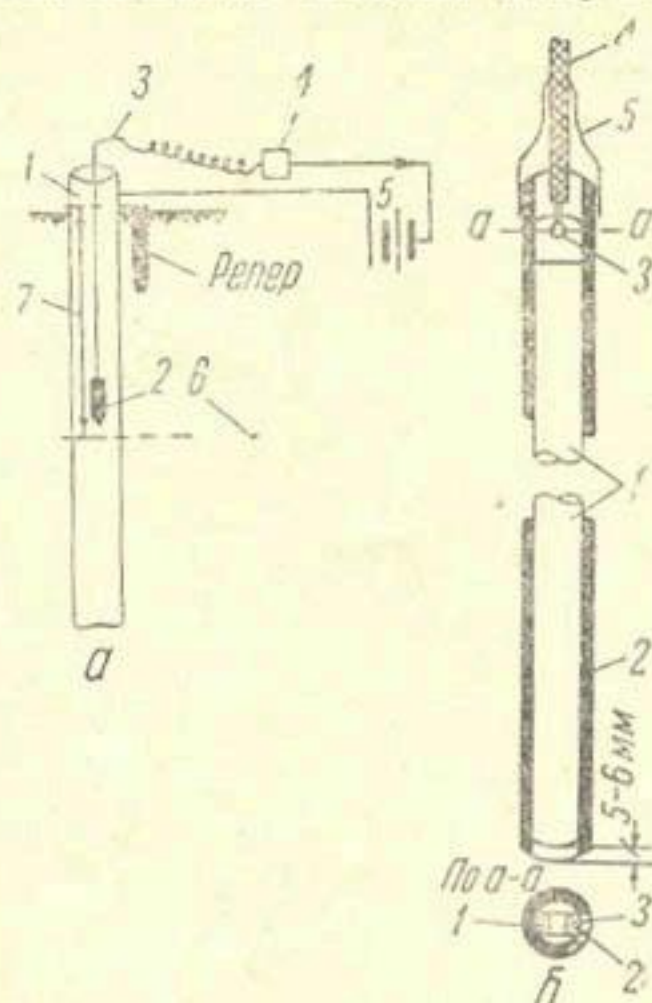


Рис. 3. Электроуровнемер Соколовского-Остроумова: а — схема:

1—обсадная труба, 2—электрод, 3—изолированный провод, 4—гальванометр или лампочка, 5—сухой элемент, 6—уровень воды в скважине, 7—измеряемая глубина, б—детали электрода: 1—металлический стержень, 2—резиновая труба, 3—отверстия для присоединения провода, 4—изолированный провод, 5—изоляционная лента.

В качестве датчиков давления (рис. 9) ис-

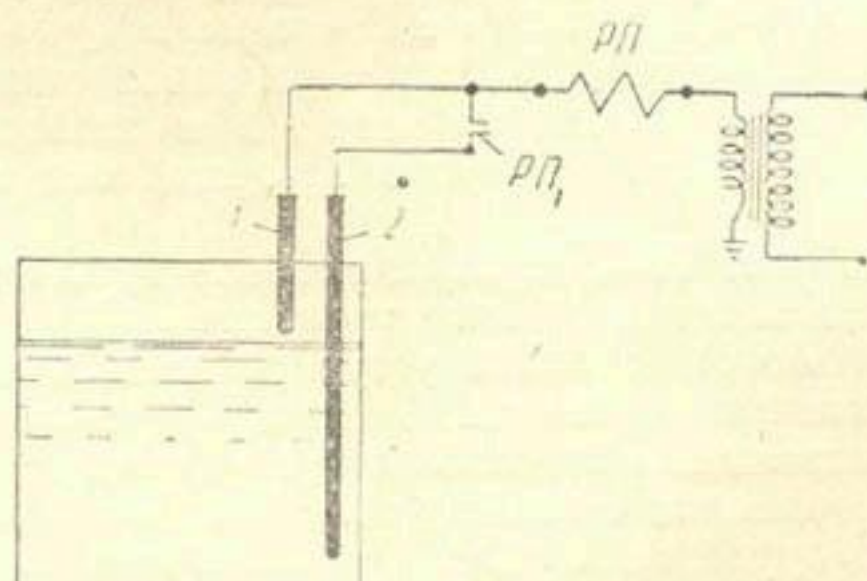


Рис. 5. Электродный датчик-уровнемер.

пользуются электроконтактные манометры, имеющие два неподвижных контакта—левый, замыкающийся при давлении ниже величины, на которую он установлен, и правый, замыкающийся при давлении, превышающем установленную для него величину. Кроме неподвижных, манометр имеет один подвижный контакт, укрепленный на стрелке. Контактная система и изоляция манометров допускают возможность включения

их в цепи управления напряжением до 380 в переменного тока или 220 в постоянного тока.

При понижении динамического уровня в скважине ниже допустимого (при «сухоходе» насоса) резко падает давление и, наоборот, при повышенном давлении насос включается при помощи электроконтактного манометра ЭКМ-1.

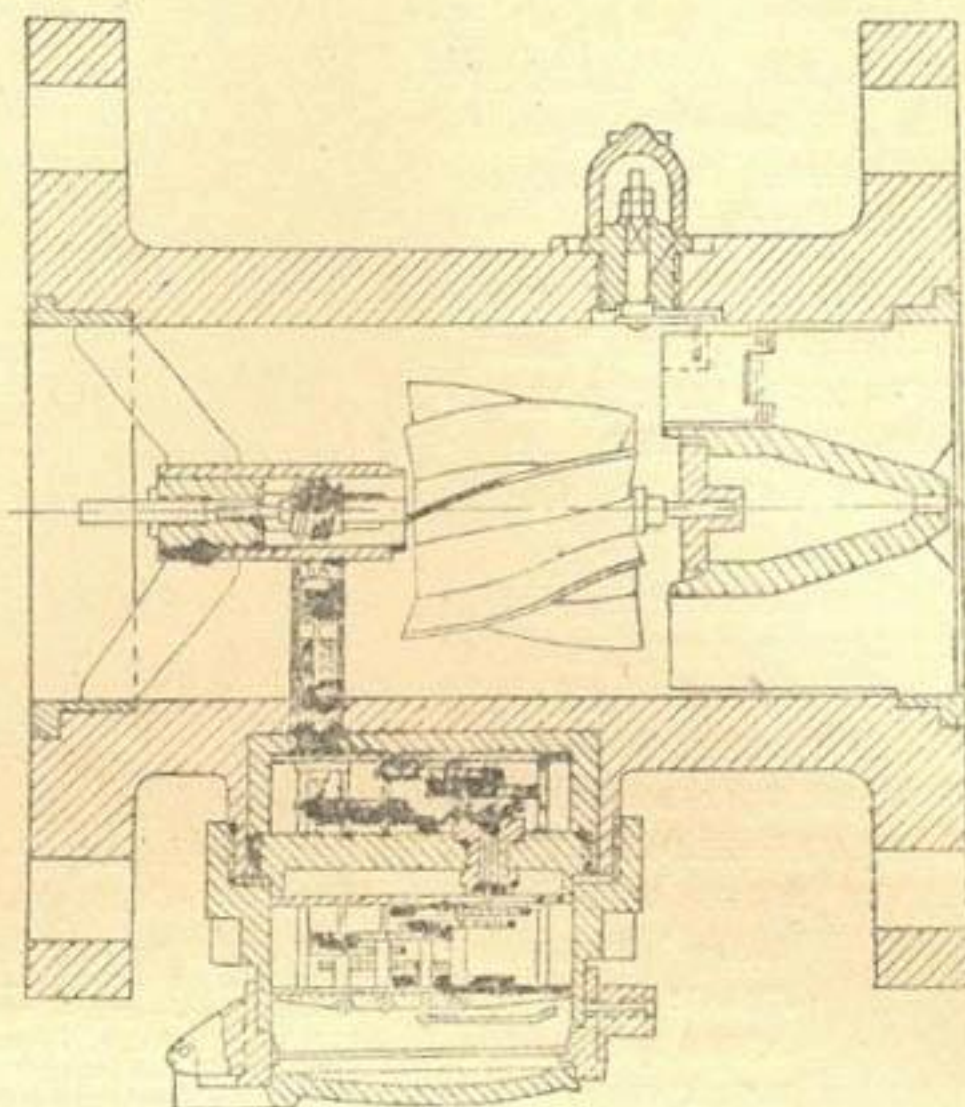


Рис. 6. Скоростной турбинный водомер.

Датчик контроля заливки насоса мембранного типа (рис. 10) используется при заливке с помощью вакуум-насоса. Он устанавливается на 0,3—0,5 м выше насоса. При наполнении насоса водой, мембрана 3 прогибается, поднимает шток 2 и замыкает контакты 1. После снижения давления мембрана возвращается в исходное положение пружиной.

На рис. 11 и 12 показаны электрические датчики усилия и положения для телединамометрирования.

Б. Автоматическое регулирование приводами насосных агрегатов вертикальных скважин. Основным условием перевода на автоматическое управление насосной станции является наличие надежного, устойчивого питания ее электроэнергией, исправное состояние насосно-силового оборудования, всасывающих и напорных линий, арматуры и аппаратуры.

На автоматических насосных станциях, как правило, предусматривается возможность полуавтоматического и ручного управления. При полуавтоматическом управлении первоначальный импульс на включение и остановку агрегатов подается человеком, дальнейший процесс осуществляется автоматически той же аппаратурой, что и при автоматическом управлении.

Автоматизацией насосных станций, кроме процесса пуска и остановки, предусматривается также отключение агрегатов при перегрузке двигателя, перегреве подшипников, прекращении подачи воды насосами,

падении напряжения в сети и пр., а также включение резервного насосного агрегата при аварийном отключении рабочего агрегата. Для обеспечения автоматического управления насосными установками применяют авторегуляторы с использованием описанных в предыдущем разделе измерительных приборов в качестве чувствительных элементов.

Простейшие схемы автоматического управления одним насосным агрегатом изображены на рис. 13. Рис. 13а иллюстрирует схему автоматизации небольшого насосного агрегата, не нуждающегося в заливе, с асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором; насос запускается при открытой задвижке. Автоматическое управление в этом случае может быть осуществлено при помощи поплавкового реле и магнитного пускателя. Импульс от поплавкового реле передается на агрегат без промежуточного реле. В этом случае реле уровня работает на рабочем напряжении, а поэтому в схему не вводится трансформатор. Контакты уровня должны быть рассчитаны на силу тока в катушке магнитного пускателя, включающего электродвигатель.

В схеме автоматического управления обычно предусматривается переключатель для перевода в случае надобности с автоматического управления на ручное. Работа системы происходит следующим образом: при достижении верхнего предела заполнения резервуара водой поплавковое реле размыкает цепь катушки магнитного пускателя, который, сработав, разомкнет три фазы силового тока и двигатель насоса будет выключен; когда же вода в резервуаре доходит до нижнего уровня, поплавковое реле уровня замыкает цепь катушки магнитного пускателя (МП), и двигатель включается в работу.

В схеме предусматривается лишь защита двигателя от перегрузки (термическое реле); контроль за работой агрегата и сигнализация в этой схеме не предусмотрены.

Такую простейшую схему можно применять лишь при небольшом расстоянии между насосами и резервуарами, т. е. при незначительном падении напряжения в проводах, соединяющих катушку магнитного пускателя с поплавковым реле.

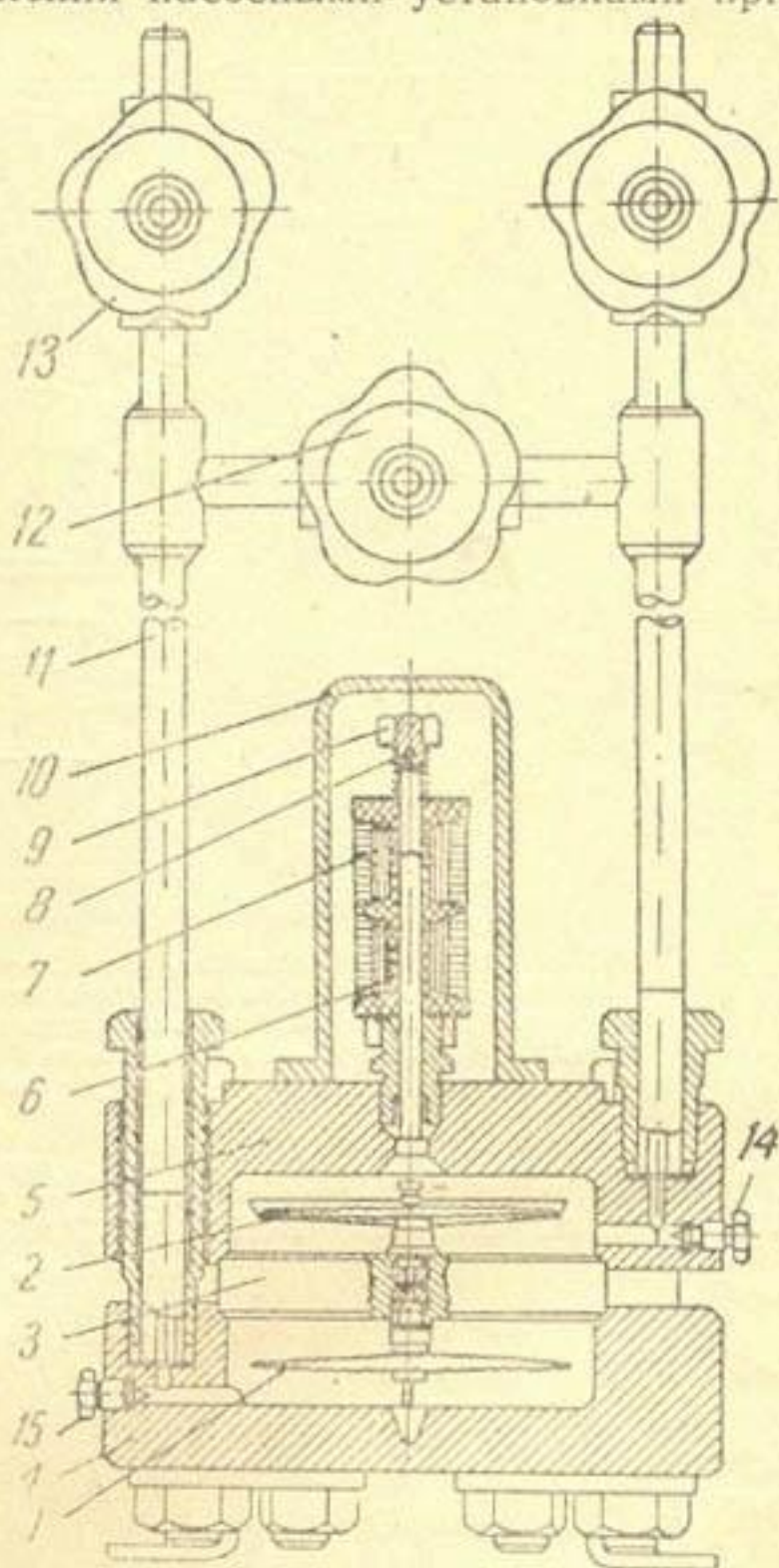


Рис. 7. Мембранный дифференциальный манометр ДМ-6:

1—нижняя мембранная коробка, 2—верхняя мембранная коробка, 3—полупка, 4—нижняя часть корпуса, 5—верхняя часть корпуса, 6—плунжер, 7—индукционная катушка, 8—регулирующая машина, 9—регулирующая гайка, 10—крышка катушки, 11—импульсные трубки, 12—уравнительный вентиль, 13—запорные вентили, 14—клапан верхней камеры, 15—клапан нижней камеры.

Управление насосом с короткозамкнутым электродвигателем от простейшего реле уровня (РУ) электродного типа осуществляется по схеме рис. 13 б. В этом случае необходимо установить понижающий

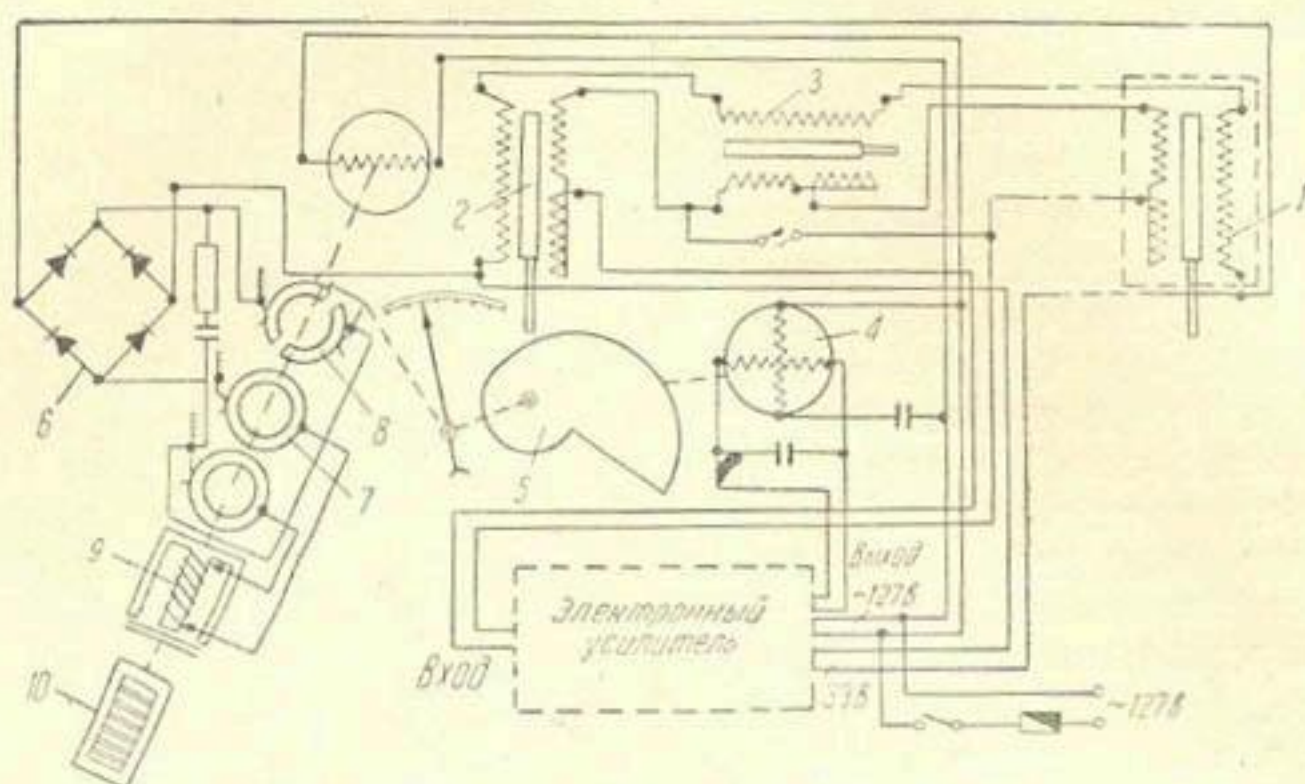


Рис. 8. Схема вторичного прибора ЭПВД:

1—катушка датчика с плунжером, 2—основная катушка вторичного прибора с плунжером, 3—катушка регулировки нуля, 4—балансирующий моторчик РД-0,9, 5—кулачок, 6—выпрямитель интегратора ВС-46-78, 7—глухое кольцо интегратора, 8—разрезное кольцо интегратора, 9—магнитная муфта, 10—счетчик интегратора—сопротивление.

трансформатор и пусковое реле (РП). Как видно, из схемы, электродное реле не связано непосредственно с цепью магнитного пускателя.

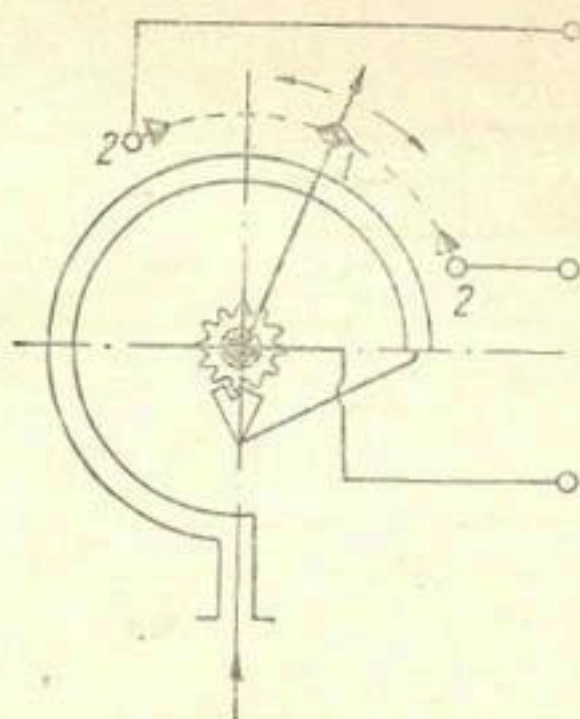


Рис. 9. Датчик давления (электроконтактный манометр типа ЭКМ):

1—подвижной контакт, 2—неподвижные контакты.

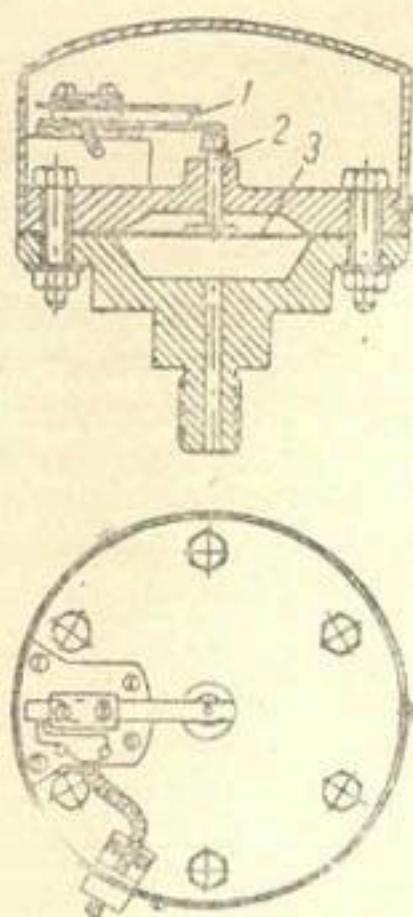


Рис. 10. Датчик контроля заливки.

В этой схеме, кроме защиты двигателей от перегрузки (термическое реле), предусмотрена защита от выпадения одной из фаз путем вклю-

чения катушки магнитного пускателя и трансформатора в разные фазы. Благодаря этому при перегорании любого предохранителя произойдет

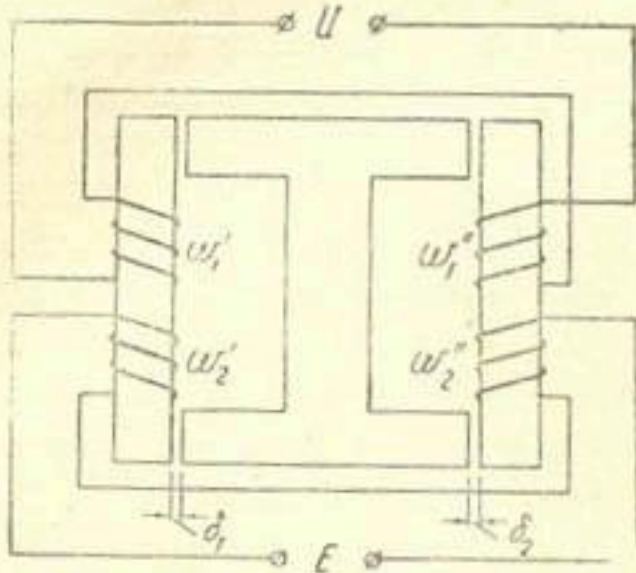


Рис. 11. Схема датчика усилия для телединамометрирования.

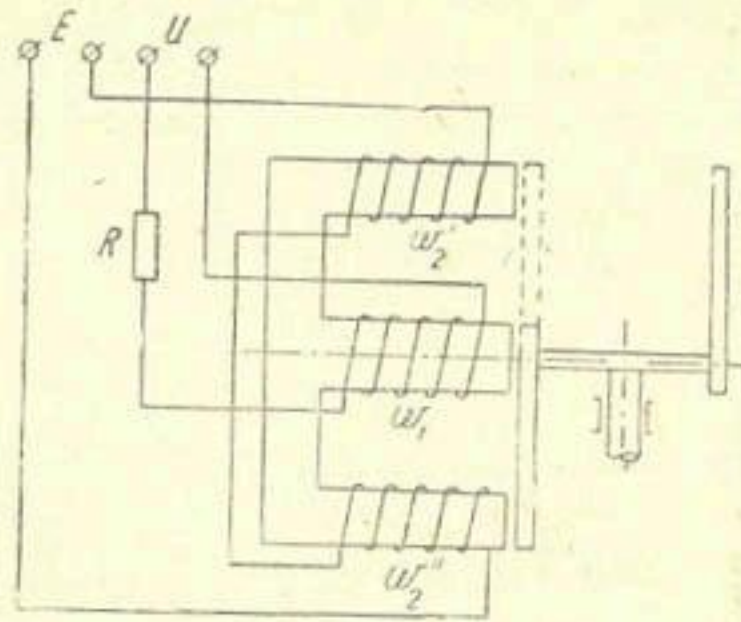


Рис. 12. Схема датчика положений для телединамометрирования.

остановка двигателя из-за отключения катушки МП или трансформатора.

Как и в первой схеме, здесь не предусмотрены контроль за работой агрегата и сигнализация.

Схема автоматического управления насосными агрегатами с короткозамкнутым электродвигателем при постоянно залитом насосе представлена на рис. 14. Насосные станции, автоматизированные по этой схеме, работают по нижеописанному принципу [10].

При достижении нижнего уровня воды в водопроводном резервуаре или верхнего уровня воды в приемном резервуаре насосной станции реле уровня замыкает свой контакт и включает линейное реле. Линейное реле своим контактом через нормально замкнутый контакт аварийного реле включает пусковое реле и реле времени. Пусковое реле замыкает свой нормально замкнутый контакт в цепи катушки МП, который замыкает главный контакт цепи электродвигателя, и последний включается.

Когда насос развивает нормальное давление в трубопроводе, срабатывает реле давления; размыкается его нормально замкнутый контакт в цепи реле времени, и последнее отключается, агрегат продолжает нормально работать до размыкания контакта реле уровня

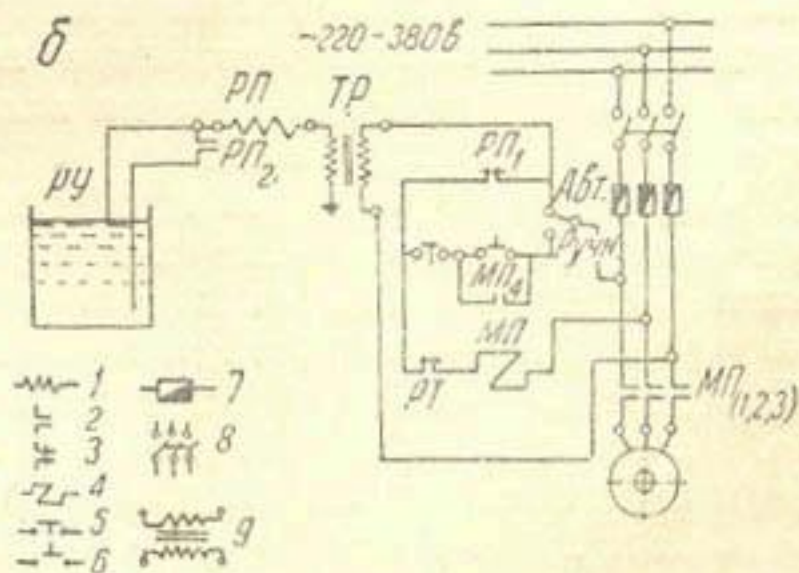
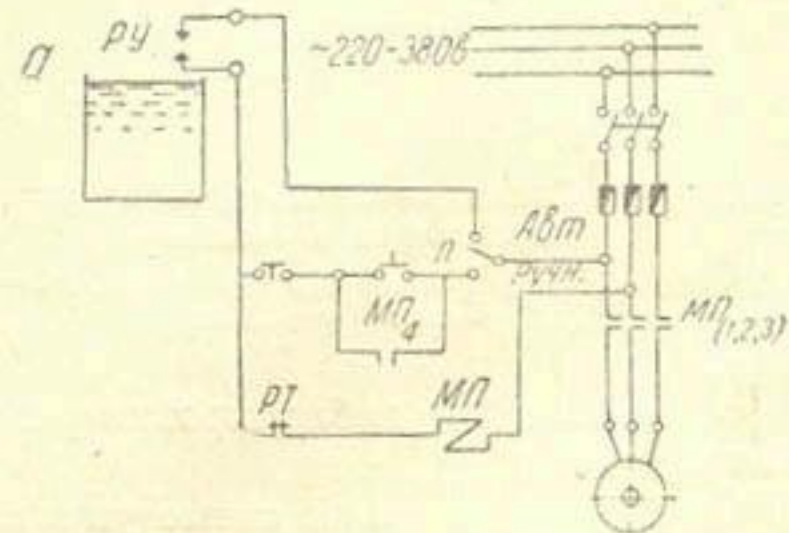


Рис. 13. Простейшие схемы автоматического управления одним агрегатом:

а—с реле уровня на рабочем токе, б—с понижающим трансформатором, 1—катушка реле, 2—нормально разомкнутый контакт, 3—нормально замкнутый контакт, 4—катушка контактора; 5—кнопка с замкнутым контактом, 6—кнопка с разомкнутым контактом, 7—предохранитель, 8—рубильник, 9—трансформатор.

при наполнении бака башни или при достижении нижнего уровня воды в приемном резервуаре.

Если насос при пуске не создал вакуум или в период работы упало давление в водопроводе, то реле давления замыкает свой контакт и включает реле времени. Последнее через заранее установленное время (вы-

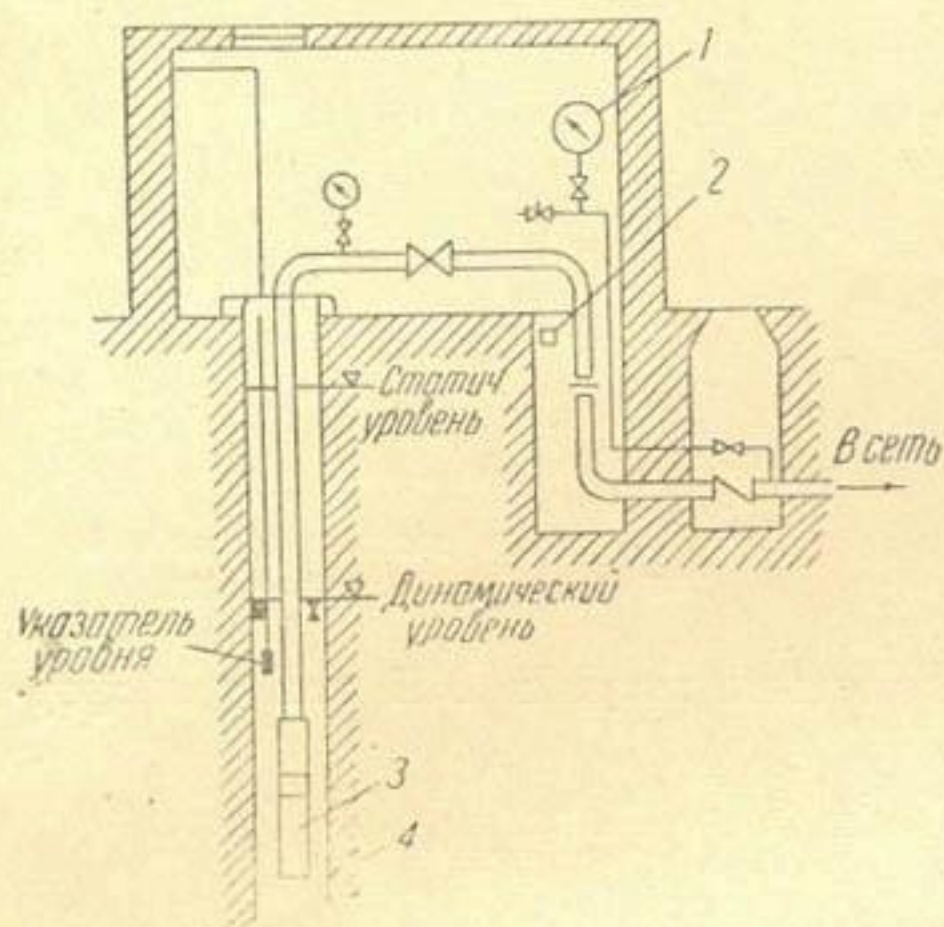


Рис. 14. Схема автоматического управления насосными агрегатами:

1—датчик давления, 2—электроды затопления, 3—погружной насос, 4—скважина.

держку) замыкает контакт в цепи аварийного реле, которое замыкает нормально замкнутый контакт отключая пусковое реле и реле времени, или замыкает блок-контакт. Магнитный пускатель отключается и агрегат выключается.

Переключателем агрегат может быть переведен на ручное управление. При помощи кнопок „пуск“ и „стоп“ осуществляется ручное управление.

Защита двигателя от перегрузки осуществляется при помощи термического реле. В случае превышения допустимой величины силового тока контакты реле размыкаются и электродвигатель отключается. После устранения неполадок при

помощи кнопки деблокировки реле вручную возвращают в исходное положение.

В принципиальной схеме управления насосом (рис. 15) с электрофицированными задвижками при заливке всасывающей линии с помощью вакуум-насоса применено поплавковое реле, установленное в водонапорном баке. Импульс на включение насоса передается на блок управления и сигнализации.

Процесс включения центробежного насоса осуществляется в следующем порядке: включается вакуум-насос; открываются соленоидные вентили на вакуумной линии; по окончании процесса заливки насоса (что контролируется реле контроля заливки и электродным реле) включается центробежный насос; по достижении напора, соответствующего режиму работы (что контролируется электроконтактным манометром), открывается напорная задвижка.

После пуска насоса в работу контролируют напор и производительность насоса, напряжение и ток, температуру обмотки электродвигателя, а также температуру подшипников электродвигателя и насоса.

Импульсы на аварийное отключение передаются от реле контроля температуры, напряжения и заливки насоса, а также электроконтактного манометра. При аварийном отключении насоса блоком управления передается импульс на включение резервного насоса с одновременной передачей сигнализации об аварии на диспетчерский пункт.

Процесс автоматического управления агрегатом значительно упрощается в случае установки насоса под заливом и пуска агрегата при открытой задвижке на напорном трубопроводе.

Характеристика телемеханических устройств, разработанных для оснащения вертикальных скважин

Наименование, кем разработано, где внедрено	Кем выпускается или выпускался	Метод кодирования	Число проводов и дальность действия	Емкость	Перечень аппаратуры, входящей в устройство	Выполняемые операции	Теледатчики и приемные приборы	Устройства автоматизации
1. ПКС-1-У. Всесоюзный н.-и. институт нефтяной промышленности (ВНИИ). Эксплуатировалось на промыслах Азербайджана и Краснодарского совнархоза	КИП (контрольно-измерительных приборов)	Комбинационный (комбинация проводов) с использованием полярных и временных импульсов (полярно-комбинационный)	Трехпроводная; дальность действия 30—35 км	96 скважин, а с одного плеча (куста) — до 24 объектов	1. Рубильник, предохранитель, магнитный пускатель, релейная коробка 2. Биметаллический датчик ТР-200 3. Контактный манометр 4. Электродный датчик 5. Уровнемер	1. Телеконтроль уровня в резервуарах кустовой насосной станции 2. Телеуправление любым из насосных агрегатов 3. Сигнализация состояния агрегатов (работает, остановлен) 4. Автоматическая аварийная сигнализация при отключении агрегата защитой 5. Двухсторонняя телефонная связь 6. Телединамометрирование	1. Уровнемер ТУ-1 АКХ 2. Защитный биметаллический датчик температуры подшипника ТР-200. Приемный прибор контактный манометр	Электродный датчик для защиты насосной станции от затопления
2. ЧТ-1 и ЧТ-2М. ВНИИ совместно с ИАТ АН СССР	Завод телемеханической аппаратуры	Частотный (использован подтоновый спектр частот 40—400 гц); число фиксированных частот—14	Двухпроводная; возможное дальность действия 100 и более км	То же	1. Блок питания пульта и динамоскопа 2. Генератор 3. Динамоскоп с переключателем магистралей 4. Потенциометры 5. Релейный блок 6. Датчики усиления (дифференциальный трансформатор) 7. Датчик положения (состоит из трех трансформаторов Ш-образного магнитопровода)	То же, что и ПКС-1	1. Датчик усиления (дифференциальный трансформатор) 2. Датчик положения (состоит из трех трансформаторов Ш-образного магнитопровода) Приемный прибор электроннолучевая трубка	То же, что и ПКС-1
3. ЦКУ-1. Бывшее объединение Средазнефть. Внедрено на промыслах Южный Аламышик Ферганефтекомбината	—	Комбинационный	10 проводов в одном плече	120 скважин в плече	—	1. Телеуправление приводом двигателя 2. Телеконтроль усилия в точке подвеса штанг 3. Двухсторонняя телефонная связь	1. Датчик давления 2. Датчик производительности	

В. Устройства телемеханики (табл. 2), внедряемые на насосных станциях, предусматривают следующий комплекс операций: 1) двухпозиционное телеуправление и квитирование исполнения команды; 2) аварийную телесигнализацию при отключении насосного агрегата; 3) сигнализацию состояния агрегата.

Схемы устройств, внедренных на первых телеуправляемых станциях, были основаны на использовании интенсивности и полярных признаков переменного тока 220 в. Впоследствии перешли на использование выпрямленного тока напряжением до 70 в, что обеспечило дальность действия свыше 10 км. В последние годы внедряются дальнедействующие частотные устройства.

В 1954 г. на основе анализа существующих в то время систем Всесоюзный научно-исследовательский институт нефтяной промышленности (ВНИИ) разработал новую систему, которой был присвоен шифр ПКС-1, а впоследствии ПКС-1-У. В этом устройстве применен комбинационный метод с использованием полярных и временных признаков. На каждые 24 скважины предусматривается прокладка одной трехпроводной магистрали. Конструкторы считают целесообразным емкость этого устройства ограничить 96 скважинами, что соответствует четырем магистральным линиям, проложенным из ДП.

В ПКС-1 предусмотрены следующие операции: выбор скважины, телеуправление приводом двигателя, телеконтроль состояния (включен, отключен), аварийная сигнализация, двухсторонняя телефонная связь, телединамометрирование.

В этом устройстве для защиты от перегрева подшипников насоса использован биметаллический датчик типа ТР-200.

При срыве давления для отключения агрегата служит контактный манометр. При повышении горизонта воды выше заданного электродный датчик отключает двигатель насоса. Кроме того, имеется уровнемер ТУ-1 АКХ, установленный в резервуаре кустовой насосной станции.

Устройство трехпроводное. Рассчитано на телеуправление от 12 до 24 насосными агрегатами. Дальность действия 30—35 км. Выпускалось заводом Контрольно-измерительных приборов (КИП) и эксплуатировалось на промыслах Азербайджана и Краснодарского совнархоза. В

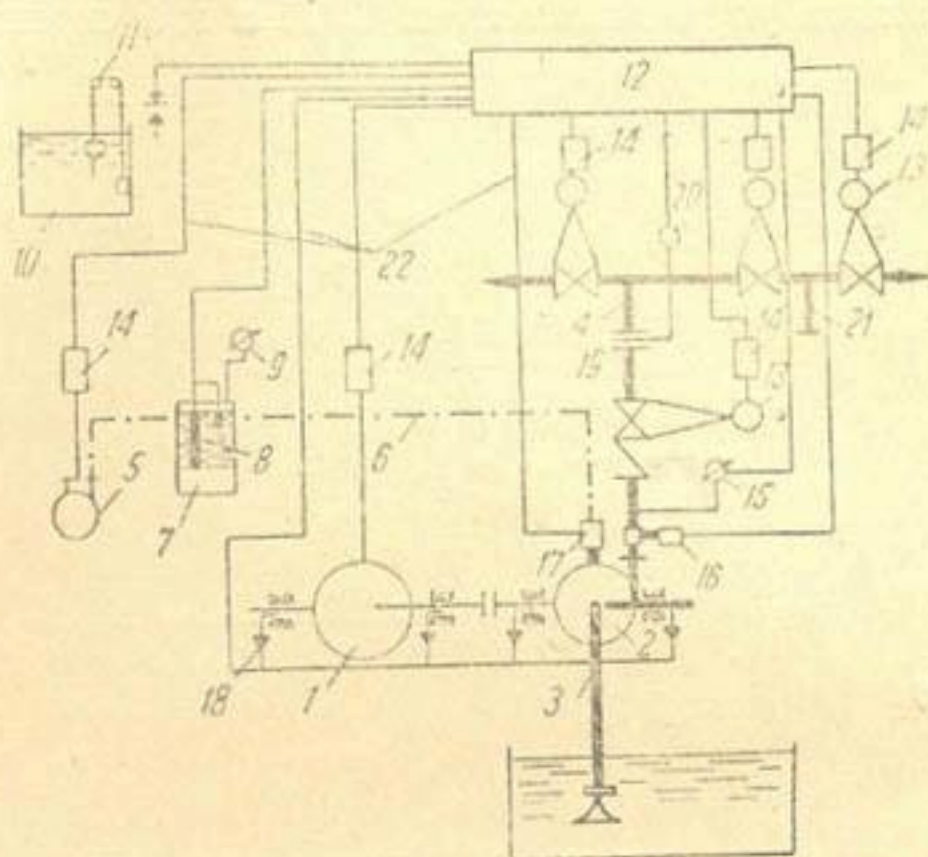


Рис. 15. Принципиальная схема автоматического управления насосом с электрофицированными задвижками при заливке насоса с помощью вакуумнасоса:

1—электродвигатель центробежного насоса, 2—центробежный насос, 3—всасывающая линия, 4—напорная линия, 5—вакуумнасос, 6—вакуумная линия, 7—циркулярный бачок, 8—электродное реле (датчик импульса вакуумнасоса), 9—вакуумметр, 10—водомерный бак, 11—поплавковое реле, 12—блок автоматического управления и контроля за работой насосных агрегатов, 13—электрифицированная задвижка, 14—магнитный контактор, 15—электроконтактный манометр (реле давления), 16—струйное реле (реле контроля заливки), 17—соленоидный вентиль, 18—термосигнализатор, 19—водомер, 20—дифманометр, 21—присоединение второго насоса, 22—цепи управления и сигнализации.

процессе эксплуатации были выявлены недостатки, которые устранялись в процессе эксплуатации.

К концу 1959 г. завод КИП серийно изготовлял программные станции управления типа СУП и эта система получила преимущественное распространение на

нефтяных промыслах Советского Союза, несмотря на то, что в ней есть существенные недостатки: не учитывается фактор износа насоса, т.е. время работы глубиннонасосной установки остается постоянным независимо от степени износа насоса. Тем не менее программное регулирование при помощи станции управления СУП явилось шагом вперед по сравнению с ручным управлением, требующим периодического обхода и настройки эксплуатационным штатом.

Во ВНИИ была разработана новая система автоматизации — САУП, в которой программный датчик

времени заменен другим датчиком (КЭП), более совершенным (рис. 16, 17).

Завод КИП выпустил только опытные образцы этого устройства.

На промыслах Ферганнефтекомбината внедрено телемеханическое устройство ЦКУ-1, разработанное самими работниками промысла. Это устройство многопроводное. В нем использован метод комбинации проводов. При 10 проводах в одной магистрали система позволяет охватить до 120 скважин. В схеме предусмотрено телеуправление приводным двигателем станка-качалки, телеконтроль тока двигателя, телеконтроль усилия в точке подвеса штанг, телефонная связь. Предусмотрено и телеизмерение производительности, однако оно не осуществлено.

В настоящее время указанная система с некоторыми изменениями внедрена на всех скважинах промысла Ферганнефтекомбината.

Группой специалистов бывшего объединения Грознефть была разработана система телемеханизации глубиннонасосных скважин с фа-

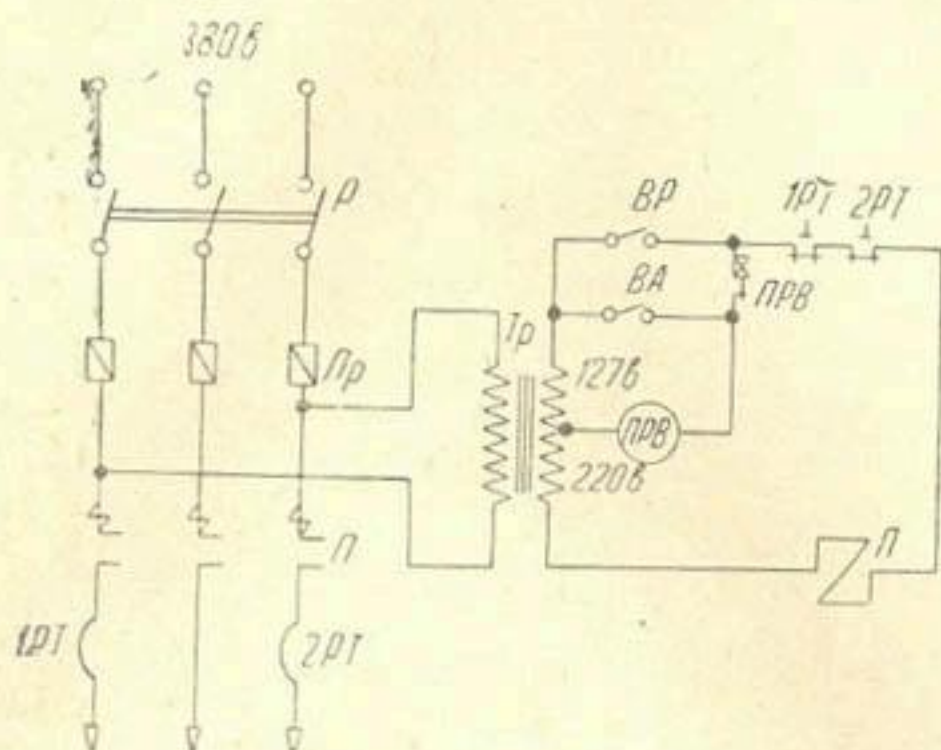


Рис. 16. Схема станции управления типа СУП для автоматизации периодической глубиннонасосной эксплуатации:

Р—рубильник, Пр—предохранители, П—магнитный пускатель, Tr—трансформатор 380/220/127 в, РТ—реле тепловые; ВА—выключатель автоматики, ВР—выключатель ручного управления, ПРВ—программное реле времени.

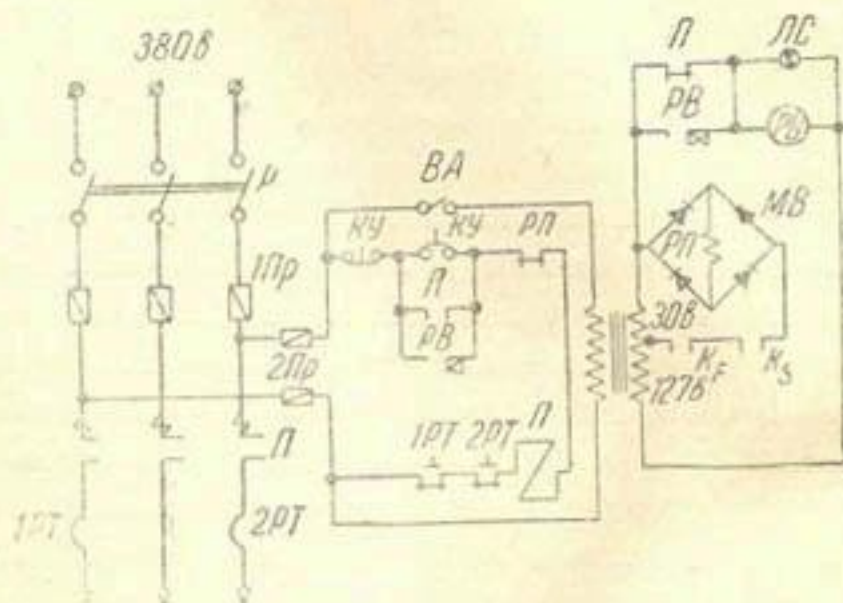


Рис. 17. Электрическая схема станции управления (типа САУП) для автоматизации скважин при периодической насосной эксплуатации по системе ВНИИ:

Р—рубильник трехполюсный, 1 Пр—главные предохранители, 2 Пр—предохранители в цепи понижающего трансформатора Tr, РТ—тепловые реле, МП—магнитный пускатель, КУ—кнопка управления, РВ—реле времени, РП—промежуточное реле, МВ—мост выпрямителя, ВА—выключатель автоматики, К_Р, К_С—контакты датчиков, ЛС—сигнальная лампа.

зовым принципом измерения и с использованием существующих на промысле силовых и осветительных линий связи. В этой системе было предусмотрено телеуправление двигателями станков-качалок, телеизмерение тока, потребляемого двигателем, телефонная связь и телеуправление местным освещением объекта. Эта система была модернизирована и один из последних ее вариантов получил шифр ГМ-4.

На скважинах, где требуется регулирование дебита скважины, рекомендуется использовать автоматическое устройство, разработанное Институтом автоматики и телемеханики АН СССР в 1957—1958 гг. (рис. 18).

ВНИИ совместно с ИАТ АН СССР разработали новую систему, в которой единственным импульсным признаком для избирания нужного объекта используется частота, что позволило число проводов сократить до одного-двух. Это устройство получило шифр ЧТ-1, и оно было модернизировано в устройство ЧТ-2М (рис. 19), которое в настоя-

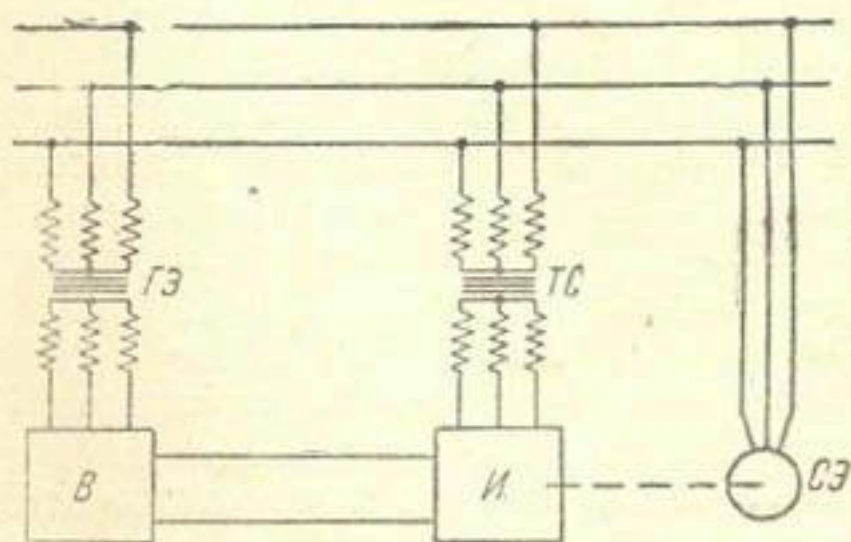


Рис. 18. Схема регулирования асинхронного привода по системе ИАТ АН СССР;

ГЭ—главный электродвигатель (трехфазный асинхронный с контактными кольцами), В—выпрямитель двухполупериодный трехфазный на полупроводниках, И—инвертор, ТС—трансформатор, согласующий выходное напряжение инвертора с напряжением питающей сети, СЭ—сервоэлектродвигатель.

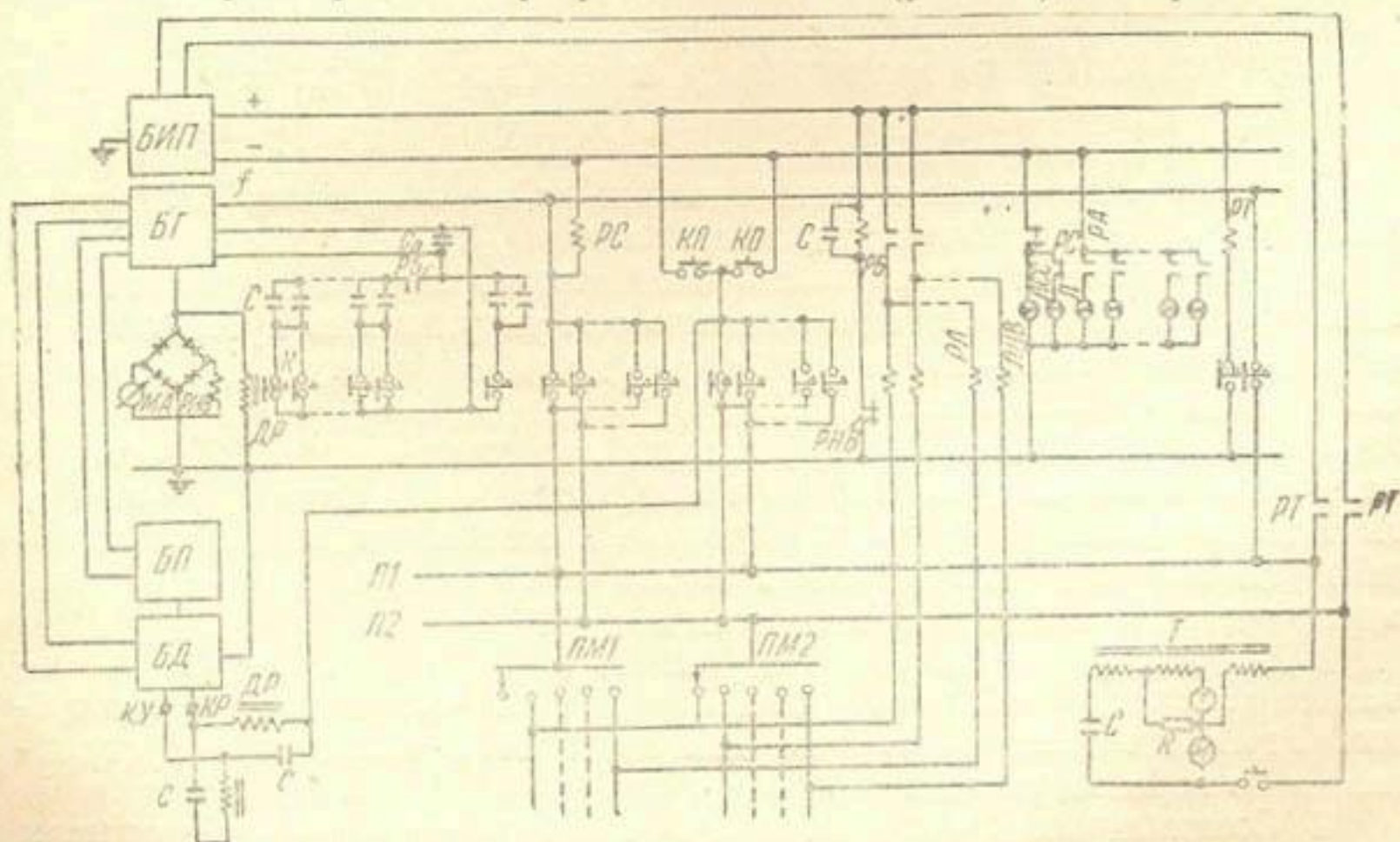


Рис. 19. Схема пульта управления частотной телемеханической системы ЧТ-2М:

БИП—блок источников питания, БГ—блок генератора фиксированных частот, БД—блок динамоскопа, БП—блок потенциометров, К—24К—ключи и их контакты, КП—ключ телеуправления (пуск), КО—ключ телеуправления (остановка), ПМ—переключатель магистралей, ЛНВ—лампа сигнальная наличия выбора, ЛСС—лампа сигнализации состояния (включен, отключен), ЛА—сигнальная лампа аварии, Л—линия связи телемеханики, РНВ—реле наличия выбора и его контакты, РС—реле сигнальное и его контакты, РА—реле аварийное и его контакты, РТ—реле телефонное и его контакты, РБ—реле блокировки и его контакты, ДР—дрессель, С—емкость, R—сопротивление, Т—телефон, М—микрофон, МА—миллиамперметр КУ—канал усиления, КР—канал развертки, Т—трансформатор.

щее время считается наиболее совершенным и отвечающим требованиям эксплуатации глубиннонасосных установок. В этой системе для

выбора объекта использован подтональный спектр частот (40—400 гц). Ёмкость системы — 24 объекта. Используются 12 различных частот, так как все скважины разделены на две группы по 12 скважин в группе. Отдельная частота выделяется для телефонного разговора с ДП, поэтому общее число фиксированных частот — 14. Модернизированное устройство ЧТ-2М выполняет те же функции, что и вышеописанное устройство ПКС-1.

Телеуправляемые станции контролируются обходчиками один раз в сутки. В день посещения записываются в специальный журнал показания водомера и электросчетчика, проверяется смазка агрегата и т. д.

В 1956 г. в САНИИРИ было разработано телемеханическое устройство ТУИС-57, которое в 1958 г. было внедрено на 10 вертикальных оросительных скважинах Туркмении, где для учета воды отводящие каналы были оборудованы водосливами с расходографами САНИИРИ. В этом телемеханическом устройстве в качестве сигнальных посылок использована комбинация четырех частот. Конструкция генератора (шифратора) частоты была заимствована из устройства, разработанного для железнодорожной диспетчерской службы (ПЧДЦ-55). Но она оказалась довольно сложной и громоздкой для этих скважин.

В процессе эксплуатации описанное устройство значительно переделано и упрощено и получило название МТКУ-М.

За последние годы в Туркмении довольно успешно продолжают работы по телемеханизации остальных скважин.

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДСТВ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ ЗАГРАНИЦЕЙ

Средства автоматики и телемеханики на вертикальных скважинах довольно широко применяются и за границей [6].

С 1949—1950 гг. проводилась кампания по автоматизации систем водоснабжения, причем предварительно они укрупнялись путем объединения. В настоящее время в Нью-Йорке 29 насосных станций водопровода управляются из одного ДП.

В Дрездене имеется 3 подрусловых насосных станции, 29 станций подкачки и около 30 резервуаров с протяженностью сети 1200 км. Вся эта система полностью автоматизирована и создан единый ДП, находящийся на главном сооружении в 30 км от города, насосные станции закрыты на замок и телеуправляются из ДП.

В Венгрии получило распространение программное регулирование станков-качалок, в Польше, Чехословакии и Федеративной Республике Германии распространены два вида автоматизации — программное и по горизонту воды.

В Соединенных Штатах Америки некоторые нефтяные промыслы полностью контролируются и управляются на расстоянии с ДП.

Опыт эксплуатации показал, что наибольший экономический эффект получается при внедрении местной автоматики с телеконтролем, без телеуправления.

Результаты вышеописанного опыта внедрения и эксплуатации средств автоматики и телемеханики на вертикальных скважинах водопроводных систем и нефтепромыслов свидетельствуют об эффективности внедрения этих средств и на скважинах вертикального дренажа.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СКВАЖИН ВЕРТИКАЛЬНОГО ДРЕНАЖА И ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРУЕМОЙ И КОНСТРУИРУЕМОЙ НА НИХ АППАРАТУРЕ АВТОМАТИКИ

Исходя из имеющегося небольшого опыта строительства скважин вертикального дренажа в Узбекистане, при проектировании и конструировании на них аппаратуры автоматики и телемеханики необходимо учитывать их характерные особенности.

Таблица 3

Объем автоматизации и телемеханизации для различных типов вертикальных скважин

Тип скважин	Автоматическое регулирование $A=N \cdot C$	Телеуправление $T_y=N \cdot C$	Телесигнализация $T_c=(P_c+O_c+A_c+C_c)N \cdot C$	Телеконтроль $T_k=(N_n+P_r) \cdot N$	Параметр управления насосом
1. Дренажные	+	—	+	+, —	От горизонта грунтовых вод
2. Дренажно-оросительные					От горизонта грунтовых вод и от потребности воды на орошение
качающие в открытую сеть	+	+	+	+	То же
качающие в закрытые трубопроводы	+	+	+	+	То же
3. Оросительные					
качающие в открытую сеть	+	—	+	+	По заданию или программе
качающие в закрытые трубопроводы	+	—	+	+	То же

Обозначения: C —вертикальные скважины; N —число объектов; I_n —наблюдательные колодцы (пьезометры), на которых требуется систематически вести наблюдение; A —объем автоматического управления насосными агрегатами скважин; T_c —объем телесигнализации; T_y —объем телеуправления; T_k —объем телеконтроля (телеизмерения); P_c —автоматическая сигнализация об отсутствии смазки подшипников насоса; O_c —то же, об отсутствии электропитания; A_c —аварийная сигнализация; C_c —сигнализация о сухоходе насоса; P_r —контролируемый гидропост.

1. Скважины вертикального дренажа могут быть следующих типов:
а) дренажные — откачивающие подземные воды на сброс в целях понижения уровня грунтовых вод и рассоления почвы;

б) дренажно-оросительные — откачивающие подземные воды частично или полностью в оросительную сеть (открытую или закрытую);

в) оросительные — откачивающие подземную воду только в целях орошения.

2. Как правило, вертикальные скважины действуют сезонно или периодически.

3. Объекты и объем автоматизации и телемеханизации на перечисленных в первом пункте типах вертикальных скважин указаны в табл. 3.

4. Объектами автоматизации являются насосные агрегаты, откачивающие воду, наблюдательные скважины (пьезометры), гидропосты

и гидротехсооружения на каналах, которые необходимо контролировать или регулировать в связи с подачей воды из скважин.

5. Число контролируемых наблюдательных колодцев в каждом отдельном случае задается эксплуатационниками, и их число будет равняться примерно $1/3$ или $1/4$ всех построенных наблюдательных колодцев.

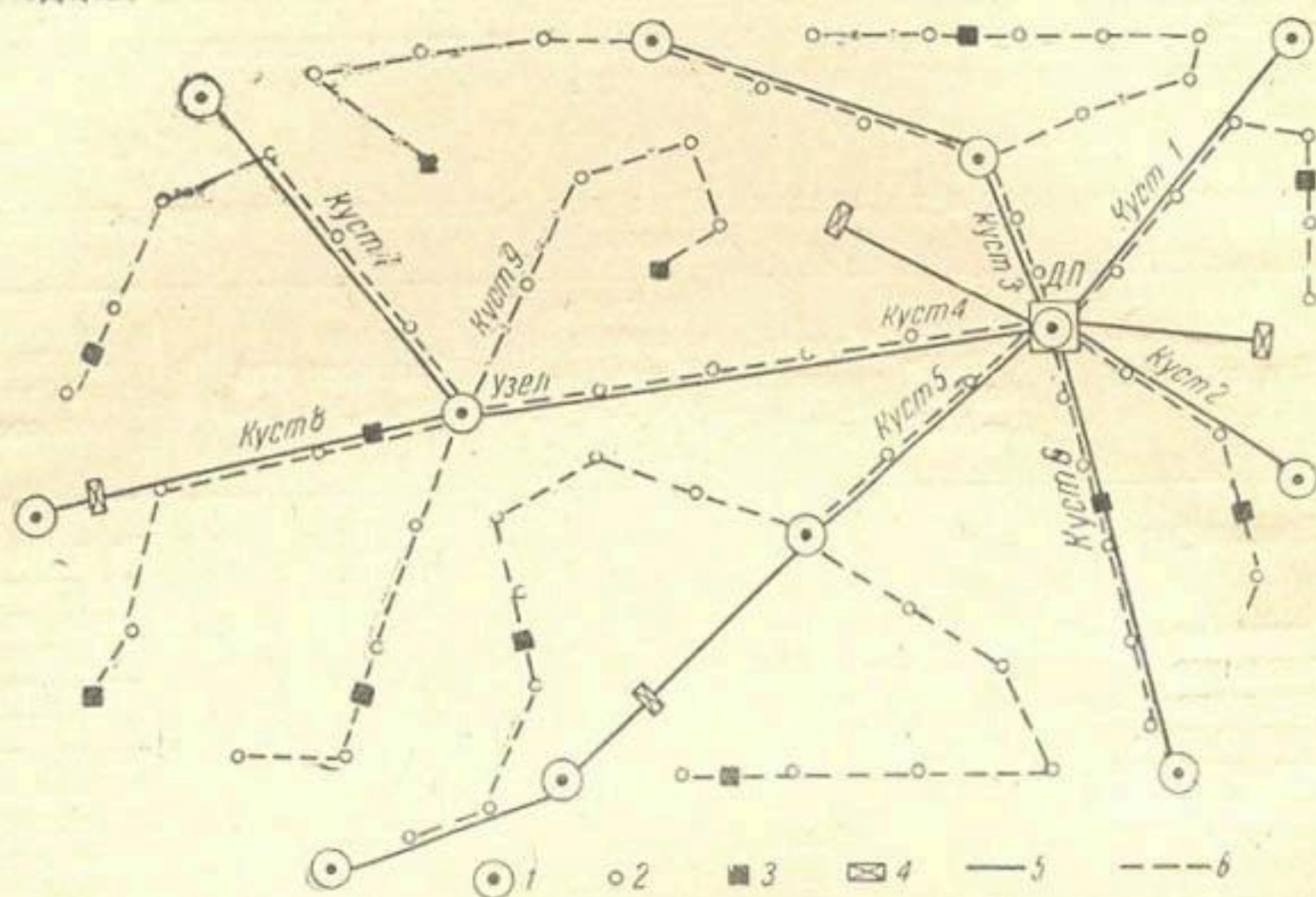


Рис. 20. Структурная схема телемеханизации оросительных скважин (откачка подземных вод на орошение и другие нужды):

1—скважины, 2—наблюдательные колодцы, 3—гидропосты, 4—телеуправляемые сооружения, 5—линия телеуправления, 6—линия телеизмерения,

6.. На указанных в четвертом пункте колодцах устанавливаются самописцы, а в некоторых случаях (табл. 3) и аппаратура телеизмерения для передачи показаний уровня грунтовых вод на ДП непрерывно или при циклическом опросе. На всех других наблюдательных колодцах устанавливаются уровнемеры с местным указывающим прибором.

7. При частичной или полной подаче подземной воды на орошение задача телемеханизации усложняется, так как в этом случае увеличивается число контролируемых и регулируемых объектов за счет гидротехнических сооружений оросительной сети.

8. Объем телесигнализации на ДП состоит из сигнализации об отсутствии смазки подшипников, электропитания насосов и аппаратуры, об аварии, сухохода насосов и др.

9. Автоматическое управление насосными агрегатами целесообразно осуществлять в зависимости от положения горизонта грунтовых вод (двухпозиционно — включить, отключить), а в некоторых случаях (табл. 3) можно применять дистанционное или телемеханическое управление из ДП.

10. Скважины могут быть оборудованы одноподъемными и двухподъемными насосными агрегатами. Насосы первого подъема двухподъемных станций управляются автоматически в зависимости от уровня воды в резервуарах. Насосы же второго подъема телеуправляются из ДП. Те насосные станции, на которых находится ДП, управляются дистанционно.

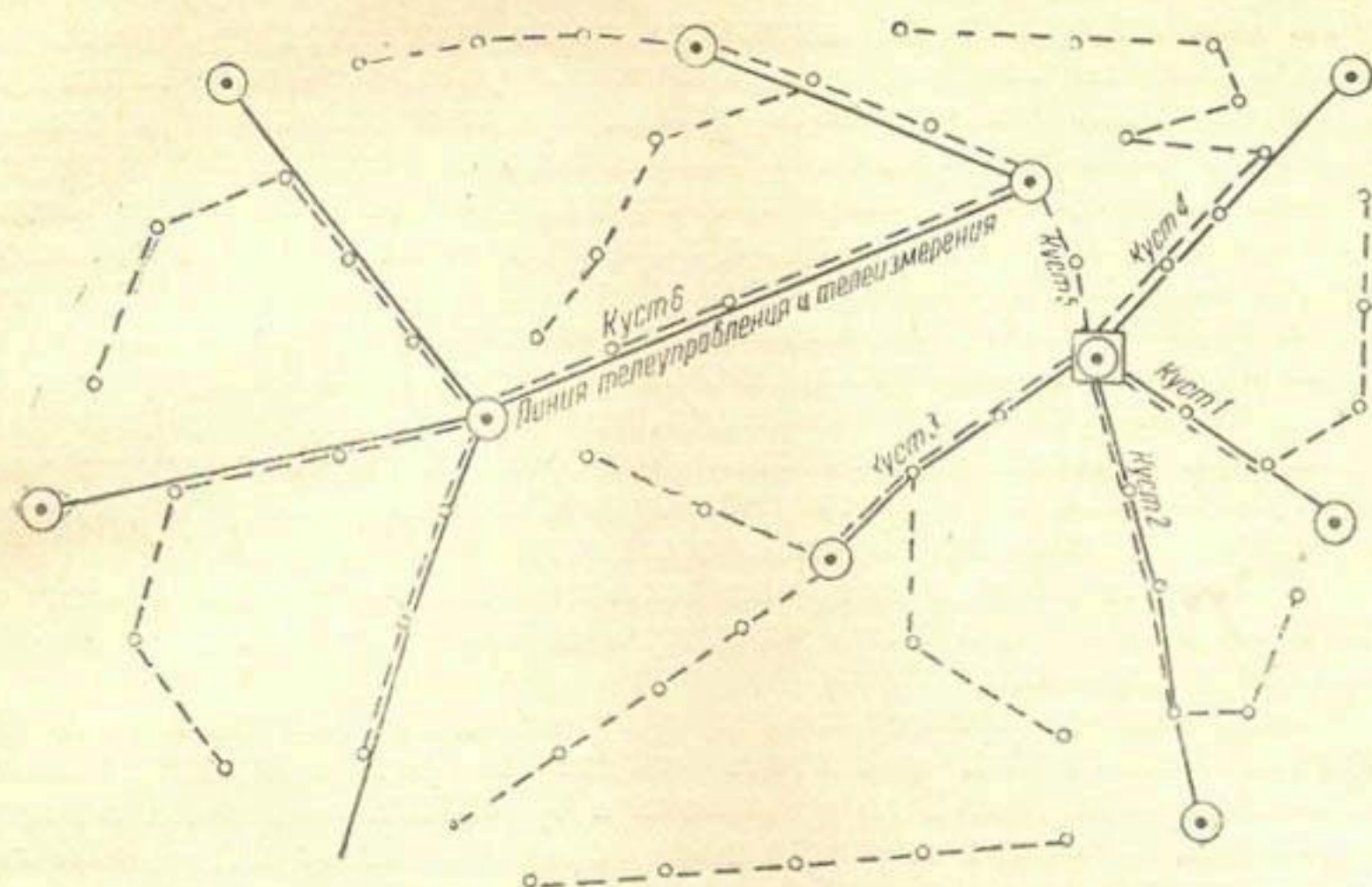


Рис. 21. Структурная схема телемеханизации дренажно-оросительных скважин (откачка подземных вод полностью или частично в оросительную сеть); условные обозначения те же, что и на рис. 20.

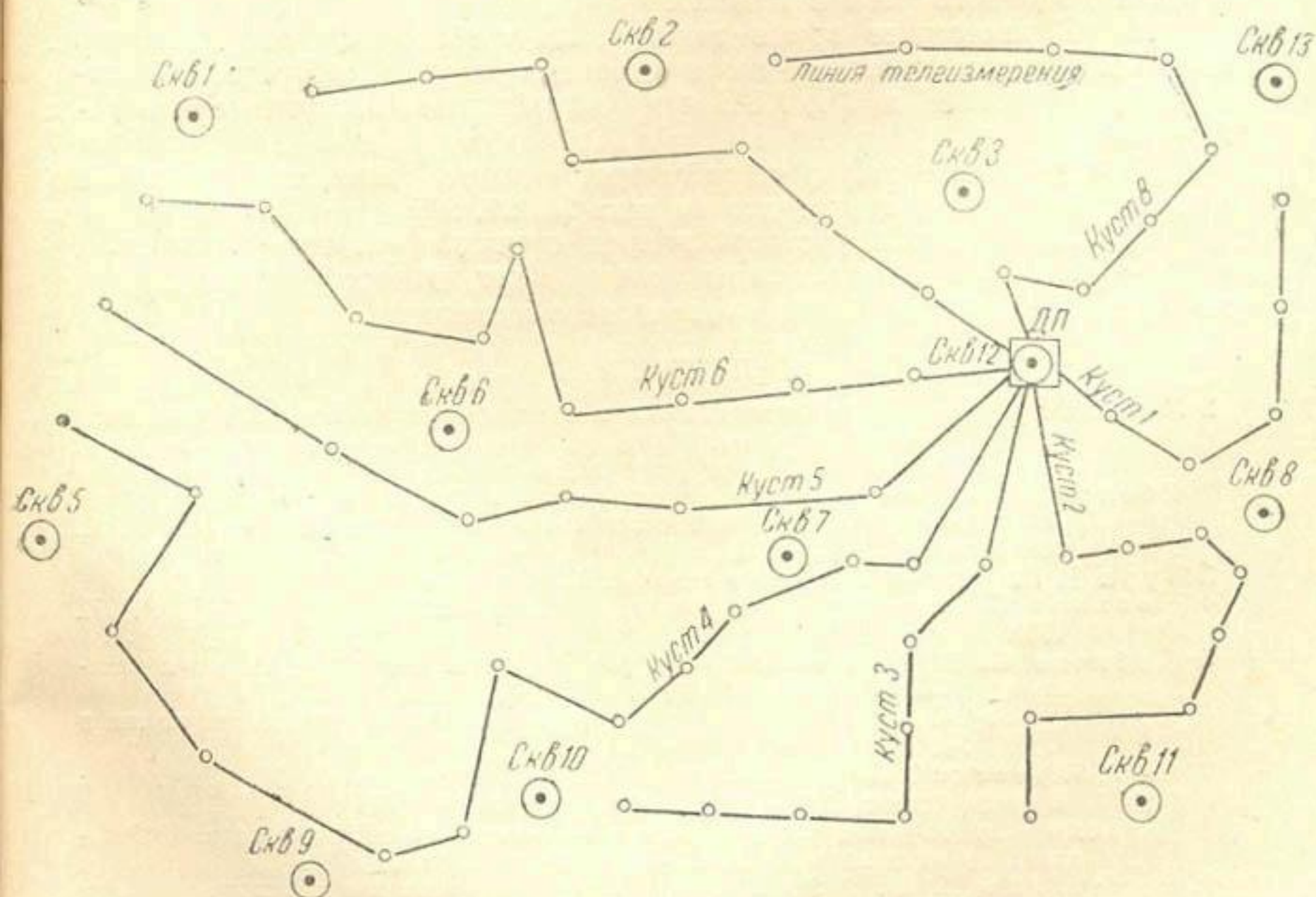


Рис. 22. Структурная схема телемеханизации дренажных скважин (откачка подземных вод на сброс); условные обозначения те же, что и на рис. 20.

11. Для выбора схемы автоматического управления агрегатами насосной станции проектировщики обязаны учитывать следующие основные факторы: количество агрегатов, установленных на насосной станции, их мощность и род тока, питающего агрегаты; типы датчиков для подачи импульсов для пуска агрегата; место установки насоса по отношению к уровню воды в источнике водоснабжения насосной станции; контроль и сигнализацию о работе агрегата; аварийную защиту и переключение на резервный агрегат, управление задвижками.

12. Устройства автоматизации, телеизмерения и телеуправления должны проектироваться комплексно, взаимосвязанно.

13. При определении рациональных объемов автоматического учета, регулирования и телемеханизации необходимо учитывать технические условия эксплуатации данного объекта.

14. Следует иметь в виду что телемеханизация должна не подменять автоматизацию, а лишь дополнять ее тогда, когда это целесообразно и экономично.

15. На данном этапе параметры вертикальных скважин характеризуются следующими показателями: 1) территория расположения вертикальных скважин от 5 до 60 га, около 0,5–3 шт. на гектар, а всего 40–400 шт.; 2) максимальная удаленность скважин от ДП—3–15 км; располагаются они примерно равномерно, одиночно и рассеянно (распределенно) по территории; 3) глубина 25–300 м, рабочий напор 5–20 м, дебит одной скважины 5–100 л/сек; диаметр скважин $d=11''\div 16''$; 4) глубина наблюдательных колодцев $H=4\div 100$ м; $d=3''\div 6''$; 5) диапазон колебания грунтовых вод 0,5–2 м; 6) необходимое число наблюдений за горизонтами грунтовых вод — от двух раз в сутки до одного раза в неделю.

16. В настоящее время техническим требованиям эксплуатации скважин вертикального дренажа отвечают насосы, выпускаемые заводами, типа АТН и ВП, АВП и др. (глубинные погружные и непогружные).

17. Возможные структурные схемы телеуправления, телеизмерения и телесигнализации приводятся на рис. 20, 21, 22.

18. Рекомендуются кустовой запуск скважин при телеуправлении, причем установки с двигателями более 15 кВт целесообразно оборудовать устройствами для индивидуального самозапуска.

ЛИТЕРАТУРА

1. Материалы совещания по автоматизации и телемеханизации насосных установок артезианских скважин (г. Калинин, 19–21 ноября 1957 г.), под ред. Я. Г. Белкина, М., Изд-во Мин. комм. хозяйства РСФСР, 1959.
2. Ябелов Н. С. Автоматизация на подольском водопроводе (из опыта работы водопровода г. Подольска Московской области), М., Изд-во Мин. комм. хозяйства РСФСР, 1958.
3. Турк В. И. Насосы и насосные станции, М., Госиздат, 1961.
4. Иванков П. А. Автоматизация водопроводных насосных станций, М., ГНТИ, 1960.
5. Лобачев П. В. и Шевелев Ф. А. Водомеры для водопроводов и канализации, М., Госстройиздат, 1957.
6. Мамиконов А. Г. Автоматизация процессов добычи и транспорта нефти в США, М., Гостоптехиздат, 1958.
7. Анатольевский П. А., Малоян А. В., Шнееров О. М. Технология бурения скважин на воду, М., Гостоптехиздат, 1962.
8. Монахов В. И. Измерение расхода и количества жидкости и пара, Библиотека по автоматике, В50, М.—Л., Госэнергоиздат, 1962.
9. Решеткина Н. М. Рабочая характеристика колодцев для вертикального дренажа и орошения подземными водами, В сб. «Вопросы гидротехники», вып. 9, Ташкент, АН УзССР, 1962, стр. 32.
10. Гончаров С. Ф. и др. Автоматическое управление насосными станциями железнодорожного водоснабжения, Трансжелдориздат, 1955.
11. Переверзев С. К. Насосы ВП-8 для буровых скважин, В сб. «Вопросы гидротехники», вып. 5, Ташкент, АН УзССР, 1962.

И. Б. ЧИЖ

К ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ВОДОМЕРНОГО КОЛОДЦА

ВВЕДЕНИЕ

Движение воды в резервуаре, сообщающемся с внешней водной средой, рассматривал еще Даниил Бернулли (1738 г.) [1]¹. На основании закона живых сил им было составлено дифференциальное уравнение первого порядка относительно уровня воды в сосуде и так называемого потенциального подъема²; уровень воды вне сосуда предполагался неизменным. «Во избежание пространных вычислений, я не хотел,— писал Д. Бернулли,— исследовать данного вопроса во всем объеме, поэтому я ограничился случаем цилиндрических сосудов». Хотя решение уравнения дало лишь зависимость скорости центра тяжести от уровня воды, Д. Бернулли сумел сделать ряд важных физических выводов. Для сосудов произвольной формы Д. Бернулли сформулировал без доказательства теорему о собственной частоте колебаний воды.

Сосуд, колодец и другие резервуары, сообщающиеся с окружающей водой или другой жидкой средой,— это элементы многих современных гидрометрических и автоматических устройств. При связывании процессов в ирригационных каналах средствами автоматики требуется определять закон движения поверхности воды в водомерных колодцах под действием не только постоянных, но также изменяющихся во времени сил. Для расчета неустановившегося движения при таких условиях теория Д. Бернулли недостаточна.

Не останавливаясь на обзоре литературы по колебаниям воды в резервуарах, отметим здесь только две работы, наиболее близкие по теме к настоящей статье.

В работе [2] для вывода уравнения движения воды в колодце применены уравнения неустановившегося движения жидкости и уравнение неразрывности; сила инерции учтена только в соединительной трубе. Полученное дифференциальное уравнение автор в случае гармонического возмущающего воздействия решает методом малого параметра. Величины, характеризующие гидравлическое сопротивление, входят исключительно в малый параметр ε ; предположение о том, что параметр ε достаточно мал, неявно вводит физическое допущение о малости сил сопротивления по сравнению с другими силами. Между тем известно, что свободные колебания воды в колодце быстро затухают, и поэтому силы сопротивления относительно велики. Предположение о

¹ Колебания воды в U-образной трубе рассматривали Ньютон (1687 г.) и Иван Бернулли (1727 г.).

² Потенциальный подъем равен квадрату скорости центра тяжести системы (движущейся воды), деленному на удвоенное ускорение силы тяжести.

малости сил сопротивления сильно сужает рассмотрение явления. Кроме того,—это уже относится к математической стороне работы,—в статье [2] метод малого параметра неправильно применен к уравнению, содержащему член с разрывной функцией.

Простую методику расчета колебаний воды в водомерном колодце с учетом гидравлических сопротивлений, но с пренебрежением силами инерции мы дали в работе [3].

В настоящей статье движение воды в водомерном колодце рассматривается более полно. Дан вывод основного уравнения движения воды в колодце произвольного профиля с учетом сил инерции и сопротивления в соединительной трубе и колодце. Найдены решения для наиболее важных случаев. Теория применена к частным вопросам. Полученные результаты могут быть использованы не только для водомерных колодцев, но и для других резервуаров и различных жидкостей.

ВЫВОД ОСНОВНОГО УРАВНЕНИЯ

Обобщение уравнения Д. Бернулли для элементарной струйки на поток обычно делают для сечений, в которых давление распределено по гидростатическому закону или одинаково во всех точках сечения. В силу искривления струй при втекании и вытекании из колодца нам придется рассматривать криволинейное живое сечение

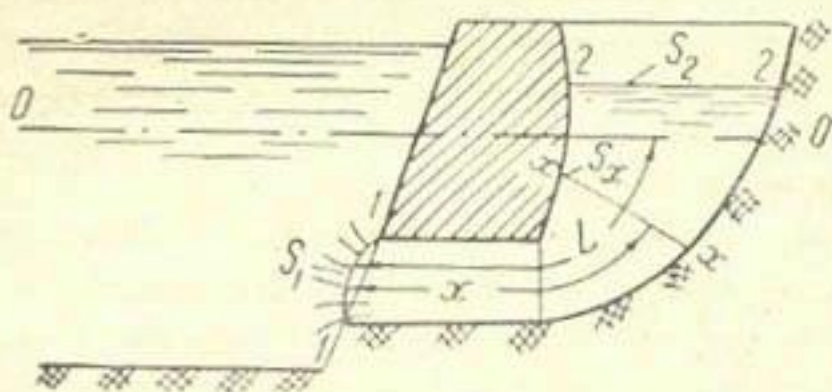


Рис. 1. Вертикальный разрез колодца и прилегающей части канала.

1—1, где не соблюдены указанные условия (рис. 1). Второе живое сечение 2—2 у нас будет совпадать с зеркалом воды в колодце. При переходе от уравнения Д. Бернулли для элементарных струек к уравнению для потока отдельные слагаемые, имеющие смысл удельной энергии, умножают на величину массового расхода и производят интегрирование по выбранным живым сечениям

$$\int_{S_1} \left(-z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \right) \gamma u_1 dS_1 = \int_{S_2} \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} \right) \gamma u_2 dS_2 + \int_{S_2} h_n \gamma u_2 dS_2 + (\text{sign} u_2) \int_{S_2} h_n \gamma u_2 dS_2; \quad (1)$$

здесь нижние индексы 1 и 2 у букв указывают на сечения 1—1 (в общем случае криволинейное) и 2—2;

S_1 и S_2 — площади живых сечений;

z_1 и z_2 — расстояния до концов струйки, отсчитываемые от горизонтальной плоскости сравнения 0—0;

p_1 и p_2 — давления в концах струйки;

u_1 и u_2 — скорости в этих точках (скорости считаются положительными при втекании воды в колодец);

g — ускорение силы тяжести;

γ — объемный вес воды;

h_n — инерционный напор;

h_u — потери удельной энергии между двумя сечениями элементарной струйки.

Суммируя мощности отдельных струек в живом сечении, получаем мощность потока в этом сечении. Рассмотрим интегралы, входящие в выражение (1).

$$\int_{S_1} \left(-z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{u_1^2}{2g} \right) \gamma u_1 dS_1 = -\gamma \int_{S_1} z_1 dQ + \int_{S_1} p_1 dQ + \frac{\gamma}{2g} \int_{S_1} u_1^3 dS_1, \quad (2)$$

где dQ — расход элементарной струйки;

$$\gamma \int_{S_1} z_1 dQ = \eta \gamma z_{ц.т} Q; \quad (3)$$

здесь $z_{ц.т}$ — расстояние от плоскости сравнения 0—0 до центра тяжести сечения 1—1,

$$\eta = \frac{\int_{S_1} z_1 dQ}{z_{ц.т} Q}, \quad (4)$$

Q — расход втекающей (или вытекающей) воды.
По теореме о среднем значении интеграла имеем

$$\int_{S_1} p_1 dQ = p^* Q,$$

причем

$$p_{мин} \leq p^* \leq p_{макс},$$

где $p_{мин}$ и $p_{макс}$ — наименьшее и наибольшее давление в сечении 1—1 в данный момент.

Для определенности возьмем давление $p_{ц.т}$ в центре тяжести сечения 1—1, связанное с p^* выражением

$$p^* = \nu p_{ц.т},$$

$$\nu = \frac{\int_{S_1} p_1 dQ}{p_{ц.т} Q}. \quad (5)$$

Следовательно,

$$\int_{S_1} p_1 dQ = \nu p_{ц.т} Q. \quad (6)$$

Далее,

$$\frac{\gamma}{2g} \int_{S_1} u_1^3 dS_1 = \alpha_1 \gamma \frac{v_1^3}{2g} Q, \quad (7)$$

где v_1 — средняя скорость потока в сечении 1—1,

$$v_1 = \frac{\int_{S_1} u_1 dS_1}{S_1},$$

α_1 — корректив скорости (коэффициент кинетической энергии), равный

$$\alpha_1 = \frac{\int_{S_1} u_1^3 dS_1}{v_1^3 S_1}. \quad (8)$$

Поскольку движение предполагается одномерным, т. е. в любой момент координата z_2 и давление p_2 во всех точках сечения 2—2 одинаковы,

$$\int_{S_1} \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{u_2^2}{2g} \right) \gamma u_2 dS_2 = \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} \right) \gamma Q; \quad (9)$$

здесь

$$v_2 = \frac{\int_{S_2} u_2 dS_2}{S_2};$$

α_2 — корректив скорости (коэффициент кинетической энергии),

$$\alpha_2 = \frac{\int_{S_2} u_2^3 dS_2}{v_2^3 S_2}. \quad (10)$$

Следующий интеграл —

$$\int_{S_1} h_n \gamma u_2 dS_2 = \gamma Q \frac{1}{g} \int_0^{L+z_1} \beta \frac{\partial v_x}{\partial t} dx, \quad (11)$$

где x и L — расстояния по оси потока от сечения 1—1 и соответственно до поперечного сечения колодца (или трубы) x — x и площади сравнения 0—0 (см. рис. 1);

v_x — средняя скорость потока в сечении x — x ,

$$v_x = \frac{\int_{S_x} u_x ds_x}{S_x};$$

S_x — площадь сечения x — x ;

u_x — скорости струек в сечении x — x ;

β — корректив скорости (коэффициент количества движения),

$$\beta = \frac{\int_{S_x} u_x^2 ds_x}{v_x^2 S_x}.$$

Коэффициент β принимается нами постоянным. Учитывая, что

$$v_x = \frac{S_2}{S_x} v_2 \quad (12)$$

и

$$v_2 = \frac{dz_2}{dt}, \quad (13)$$

интеграл (11) представим так:

$$\int_{S_1} h_n \gamma u_2 dS_2 = W \gamma Q \frac{d^2 z_2}{dt^2}, \quad (14)$$

где

$$W = \frac{\beta S_2}{g} \int_0^{L+z_1} \frac{dx}{S_x}. \quad (15)$$

Наконец, интеграл

$$\int_{S_1} h_n \gamma u_2 dS_2 = h^* \gamma Q, \quad (16)$$

где h^* — некоторые средние (в смысле теоремы о среднем значении интеграла) потери удельной энергии в элементарных струйках; в гидравлике эта величина носит название потерь удельной мощности потока.

Потери удельной мощности потока определим по формуле

$$h^* = \Sigma \zeta \frac{v_2^2}{2g}, \quad (17)$$

в которой $\Sigma \zeta$ — суммарный коэффициент сопротивлений в трубе и в колодце, приведенный к скорости v_2 .

В общем случае $\Sigma \zeta$ зависит от направления движения воды и от z_2 (через s_2).

Введем обозначения

$$\Sigma \zeta = \begin{cases} G & \text{при } v_2 > 0, \\ N & \text{при } v_2 < 0. \end{cases} \quad (18)$$

Когда $G = N$, сопротивления будем называть *симметричными*.

Воспользовавшись найденными значениями интегралов, уравнение (1) представляем в следующем виде:

$$W \frac{d^2 z}{dt^2} + \frac{1}{2g} \left[\alpha_2 + \left(\text{sign} \frac{dz_2}{dt} \right) \Sigma \zeta \right] \left(\frac{dz_2}{dt} \right)^2 + z_2 = - \eta z_{н.т} + \frac{\gamma p_{н.т} - p_2}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g}. \quad (19)$$

Величины, стоящие в правой части выражения (19), можно рассматривать как возмущающие факторы движения воды в колодце.

В теории автоматического регулирования принято задаваться типовыми возмущающими воздействиями в виде функций времени. Обозначим

$$F(t) = - \eta z_{н.т} + \frac{1}{\gamma} (\gamma p_{н.т} - p_2) + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}. \quad (20)$$

Тогда

$$W \frac{d^2 z_2}{dt^2} + c \left(\frac{dz_2}{dt} \right)^2 + z_2 = F(t), \quad (21)$$

где

$$c = \begin{cases} \frac{\alpha_2 + G}{2g} & \text{при } \frac{dz_2}{dt} > 0, \\ \frac{\alpha_2 - N}{2g} & \text{при } \frac{dz_2}{dt} < 0. \end{cases} \quad (22)$$

Выражение (21) есть искомое уравнение движения воды в колодце с учетом сил инерции.

Если на систему действует произвольная возмущающая сила, то уравнение (21) может быть решено численными методами. Но при численном интегрировании затруднительно получить сведения о влиянии отдельных параметров на процесс. Поэтому полезно найти хотя

бы приближенные аналитические решения для частных случаев. Когда избежать численного решения все же не удастся, желательно по возможности получить более простое уравнение.

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Рассмотрим вынужденные колебания воды в водомерном колодце под действием гармонической возмущающей силы

$$F(t) = M \cos(\omega t + \varphi), \quad (23)$$

где M — амплитуда;

ω — круговая частота;

φ — угол сдвига фаз между колебаниями воды в колодце и в канале (будет определен в дальнейшем).

Для упрощения обозначений отбросим в предыдущих выражениях индекс 2. Ограничимся исследованием малых колебаний. В этом случае $z \ll L$ и верхний предел интеграла (15) можно считать постоянным и равным L . Принимаем также, что в пределах колебания уровня сечение колодца постоянно.

Обозначим

$$A = \frac{\beta s}{g} \int_0^L \frac{dx}{s_x}. \quad (24)$$

Параметр A будем называть *показателем инерции*. Уравнение (21) принимает следующую форму:

$$A \frac{d^2 z}{dt^2} + c \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 + z = M \cos(\omega t + \varphi). \quad (25)$$

Из физических соображений можно предполагать, что приближенным частным решением этого уравнения является сумма периодической функции и постоянной составляющей. Подобрав некоторые величины m и k , не зависящие от t и z , так, чтобы постоянный член и коэффициент первой гармоники разложения в ряд Фурье функции

$$m \frac{dz}{dt} + k \quad (26)$$

равнялись соответственно постоянному члену и коэффициенту первой гармоники разложения функции

$$c \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 \quad (27)$$

в тот же ряд, мы заменяем уравнение (25) линейным уравнением с постоянными коэффициентами

$$A \frac{d^2 z}{dt^2} + m \frac{dz}{dt} + z = -k + M \cos(\omega t + \varphi). \quad (28)$$

Предположим, что уравнение (28) уже решено, и частное решение имеет вид

$$z = D + Z \cos \omega t, \quad (29)$$

где D — отклонение среднего положения зеркала воды в колодце от равновесного;

Z — амплитуда колебаний воды в колодце.

Используя решение (29), можно найти коэффициенты ряда Фурье для функций (26) и (27). Приравняв соответствующие коэффициенты для обеих функций, определим m и k :

$$m = \frac{8}{3\pi} Z \omega R, \quad (30)$$

$$k = \frac{Z^2 \omega^2 P}{2}, \quad (31)$$

где

$$R = \frac{G + N}{4g}, \quad (32)$$

$$P = \frac{2a_2 + G - N}{4g}. \quad (33)$$

Параметр R назовем *показателем сопротивления*.
В случае симметричного сопротивления

$$R = \frac{G}{2g}, \quad (34)$$

$$P = \frac{a_2}{2g}. \quad (35)$$

Уравнение (28) имеет следующее решение, относящееся к установившемуся режиму:

$$z = -k + \frac{M \cdot \cos \omega t}{\sqrt{(1 - A\omega^2)^2 + (\omega m)^2}}. \quad (36)$$

Угол сдвига фаз φ равен

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\omega m}{1 - A\omega^2} \quad (37)$$

или, если подставить сюда значение m , —

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{8}{3\pi} \frac{Z \omega^2 R}{1 - A\omega^2}. \quad (38)$$

Отклонение среднего положения зеркала воды в колодце от равновесного будет

$$D = -\frac{Z^2 \omega^2 P}{2}. \quad (39)$$

До сих пор Z мы еще не выразили через известные величины. Замечаем, что дробь, стоящая в формуле (36) при $\cos \omega t$, есть как раз Z и, следовательно,

$$Z = \frac{M}{\sqrt{(1 - A\omega^2)^2 + (\omega m)^2}}. \quad (40)$$

Подставив m из (30), найдем

$$Z = \frac{\sqrt{2} M}{\sqrt{(1 - A\omega^2)^2 + \sqrt{(1 - A\omega^2)^4 + \frac{256}{9\pi^2} \omega^4 R^2 M^2}}}. \quad (41)$$

Из соображений, связанных с тем, что амплитуда колебаний не может быть отрицательной и мнимой, корни в формуле (41) следует брать положительными.

Во многих отношениях формулу (41) удобно представить в безразмерном виде

$$\frac{Z}{M} = \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^4 + 2\chi^2 \left(\frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2}}}, \quad (42)$$

где

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{A}}, \quad (43)$$

$$\chi = \frac{8\sqrt{2}MR}{3\pi A}. \quad (44)$$

При

$$-0,247 \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^4 < 2\chi^2 \left(\frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 < 0,328 \left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^4 \quad (45)$$

с погрешностью, меньшей 1,0%, можно пользоваться формулой

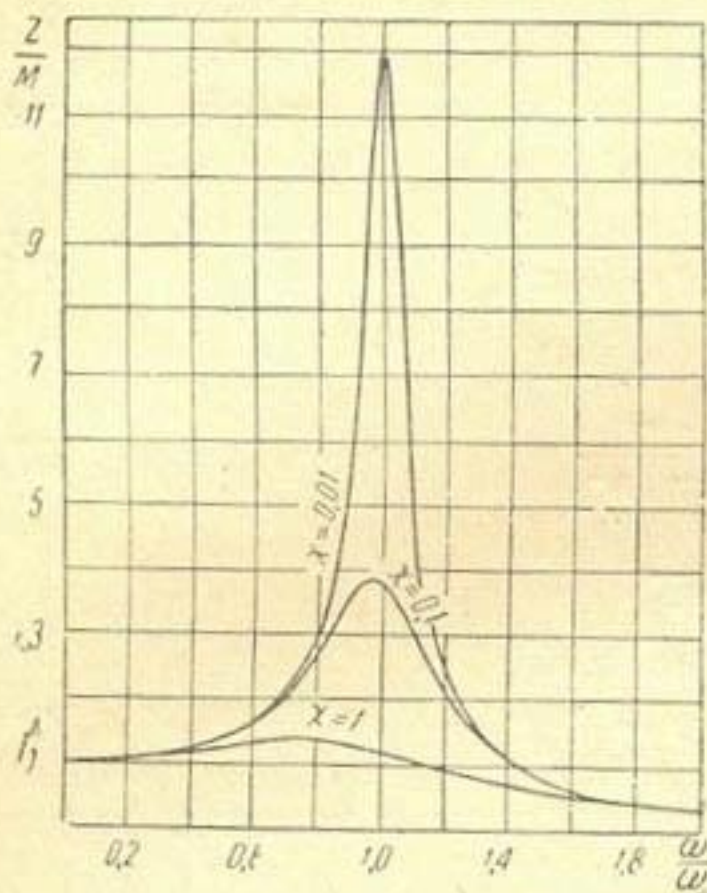


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики колодца.

$$\frac{Z}{M} = \frac{1}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}}. \quad (46)$$

Когда χ мало и частота ω близка к ω_0 , наступает резонанс. Это видно из рис. 2, где показаны амплитудно-частотные характеристики колодца для трех значений χ .

Параметр χ зависит от отношения показателя сопротивления R к показателю инерции A . Значение ω_0 из (43) совпадает с указанной Д. Бернулли собственной частотой колебаний воды в сосуде¹.

Амплитудно-частотные характеристики $\frac{Z}{M} = f\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$ для различных значений χ между собой не пересекаются, так как частная про-

изводная $\frac{\partial Z/M}{\partial \chi}$ имеет отрицательный знак при всех значениях $\frac{\omega}{\omega_0}$.

Для малых и больших значений $\frac{\omega}{\omega_0}$ амплитудно-частотные характеристики фактически сливаются в одну.

Рассмотрим некоторые приложения теории к отдельным случаям.

Случай малой силы инерции. При малой роли сил инерции из уравнения (25) исчезает показатель инерции A , и оно переходит в

¹ Д. Бернулли сформулировал свою теорему в геометрических терминах ([1], стр. 197—198). Теорема указывает длину математического маятника, имеющего ту же частоту собственных колебаний, что и вода в сосуде.

$$c \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 + z = M \cos (\omega t + \varphi). \quad (47)$$

Силы инерции малы, когда частота возмущений значительно меньше собственной частоты колебаний, то есть когда

$$\omega \ll \sqrt{\frac{1}{A}}. \quad (48)$$

В этом случае вместо (41) приближенно имеем

$$Z = \frac{\sqrt{2} M}{\sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{256}{9\pi^2} \omega^4 R^2 M^2}}}, \quad (49)$$

а вместо (38) —

$$\varphi = \arctg \frac{8}{3\pi} Z \omega^2 R. \quad (50)$$

Силы инерции играют относительно малую роль также тогда, когда велики силы сопротивления. Так, например, при малой площади сечения соединительной трубы и большой площади зеркала воды в колодце большая величина показателя сопротивления R может обеспечить неравенство

$$\frac{16}{3\pi} \omega^2 R M \gg (1 - A \omega^2)^2.$$

Амплитуда колебаний в этом случае определяется как

$$Z = \frac{1}{4\omega} \sqrt{\frac{6\pi M}{R}},$$

куда не входит показатель инерции A .

В нашей статье [3] даны результаты расчета колебания воды в водомерном колодце при пренебрежении силой инерции. Поскольку расчет был произведен без пренебрежения высшими гармониками, интересно сравнить результаты расчета в работе [3] с тем, что получается по теории, развиваемой в настоящей статье. Условия задачи были такими: площадь сечения соединительной трубы $s_1 = 0,01 \text{ м}^2$, площадь зеркала воды в колодце $s_2 = 1 \text{ м}^2$, коэффициент расхода $\mu = 0,6$, возмущающее воздействие $F(t) = M \cos \omega t$, амплитуда $M = 0,2 \text{ м}$, частота $\omega = 1 \text{ сек}^{-1}$. Сопротивление считалось симметричным, потерями в колодце пренебрегали. Кривая изменения уровня воды в колодце была получена численным интегрированием. Найдем для сравнения амплитуду и угол сдвига фаз колебаний воды в колодце по формулам настоящей статьи.

Суммарный коэффициент сопротивлений, приведенный к скорости $\frac{dz}{dt}$, равен

$$\Sigma \zeta = G = \Sigma \zeta_r \left(\frac{s_2}{\xi s_1} \right)^2;$$

здесь ζ_r — коэффициент сопротивлений в трубе;
 ξ — коэффициент сжатия потока.

Приняв

$$\mu = \frac{\xi}{\sqrt{\Sigma \zeta_r}},$$

найдем

$$R = \frac{G}{2g} = \frac{1}{2g} \left(\frac{s_2}{\mu s_1} \right)^2 = \frac{1}{2g} \left(\frac{1}{0,6 \cdot 0,01} \right)^2 = \frac{1}{2g} \frac{10^6}{36}.$$

По формуле (49) имеем

$$Z = \frac{0,2 \sqrt{2}}{\sqrt{1 + \sqrt{1 + \frac{256}{9\pi^2} \frac{10^{12}}{(2g)^2 36^2} 0,2^2}}} \approx$$

$$\approx \frac{0,2 \sqrt{2}}{\left(\frac{256}{9\pi^2} \frac{10^{12}}{(2g)^2 36^2} 0,2^2 \right)^{1/4}} \approx 0,013 \text{ м} = 1,3 \text{ см.}$$

По формуле (50) получаем

$$\varphi = \arctg \frac{8}{3\pi} 0,013 \frac{1}{2g} \frac{10^6}{36} \approx 86^\circ.$$

Вычисленные значения Z и φ совпадают с тем, что было получено в работе [3]. Здесь амплитуда и угол сдвига определялись сразу по формуле, в работе же [3] — путем численного интегрирования.

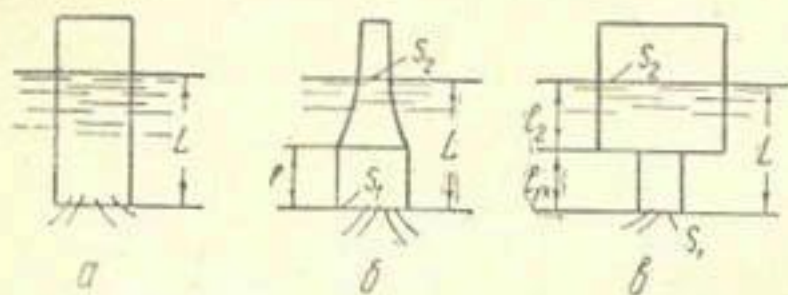


Рис. 3. Колодцы-резонаторы по французскому патенту.

Колодцы-резонаторы. Уже отмечалось, что при совпадении частоты возмущений с собственной частотой колебаний воды в колодце может наступить резонанс. Если колодец применен с целью уменьшения амплитуды колебаний воды, то это явление

крайне нежелательно. В некоторых случаях нужно увеличить амплитуду колебаний жидкости, и тогда резонанс полезен. Во французском патенте № 741494 от 7 декабря 1955 г. „Усовершенствование процессов и приспособлений, предназначенных для использования энергии волн“, предложен ряд колодцев-резонаторов. На рис. 3а показан резонатор с постоянным по высоте поперечным сечением. Период собственных колебаний, как указывается в патенте, равен

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}.$$

В общем случае собственная частота колебаний зависит от уровня воды в колодце. Но резонатор, изображенный на рис. 3б, замечателен тем, что его собственная частота не зависит от уровня воды, если последний выше цилиндрической части колодца. При „соответствующем выборе закономерности убывания сечения (оно представляет собой простой показательный закон) можно сделать период резонатора практически постоянным“... — говорится в патенте. Далее указывается, что период собственных колебаний равен $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$. Однако в патенте нет точных указаний, какую форму нужно придать верхней части резонатора.

При заданной высоте колодца-резонатора можно получить относительно большой период собственных колебаний, если применить резонатор, представленный на рис. 3в. В патенте указана форма резона-

тора — последний, как видно из рисунка, состоит из верхнего широкого и нижнего узкого цилиндров, — но не дана зависимость периода собственных колебаний от размеров цилиндров и глубины погружения отверстия.

Таким образом, случайно или намеренно, в одних случаях во французском патенте сообщается выражение для периода колебаний, но не дается точной формы резонатора, в других же случаях, наоборот, указывается форма устройства, но не сообщается значение периода колебаний.

Формулы (24) и (43) дают возможность получить недостающие во французском патенте сведения.

Покажем, что резонатор, изображенный на рис. 3б, у которого закон изменения площади поперечного сечения

$$s_x = \begin{cases} s_1 & \text{при } x \leq l, \\ s_1 e^{-\frac{x-l}{l}} & \text{при } x \geq l, \end{cases}$$

имеет постоянный период собственных колебаний при различных погружениях $L > l$. Для рассматриваемого случая формула (24) дает

$$A = \frac{\beta s_2}{g} \left[\int_0^l \frac{dx}{s_1} + \int_l^L \frac{dx}{s_1 e^{-\frac{x-l}{l}}} \right] = \frac{\beta l}{g},$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{\beta l}{g}},$$

что с точностью до значения корректива скорости β совпадает с периодом собственных колебаний, указанным в патенте.

Ниже приводятся геометрические параметры колодца-резонатора с постоянной собственной частотой (рис. 3б):

$\frac{x}{l}$	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
$\frac{r}{r_1}$	1	0,91	0,82	0,74	0,67	0,61	0,55	0,50	0,45.

Здесь r — радиус отверстия трубы на расстоянии $\bar{x}$ от нижнего края трубы, r_1 — радиус отверстия в цилиндрической части трубы.

Обратимся теперь к резонатору, изображенному на рис. 3в. Для него

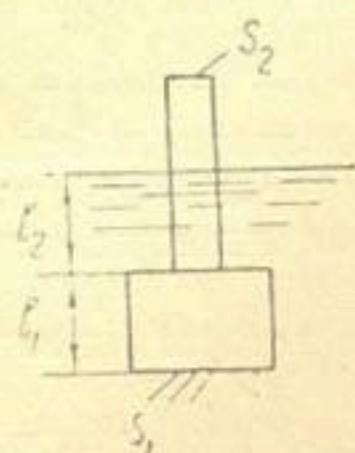
$$A = \frac{\beta s_2}{g} \left[\int_0^{l_1} \frac{dx}{s_1} + \int_{l_1}^L \frac{dx}{s_2} \right] = \frac{\beta}{g} \left(\frac{s_2}{s_1} l_1 + l_2 \right).$$

Следовательно,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\beta \left(\frac{s_2}{s_1} l_1 + l_2 \right)}{g}}.$$

В дополнение к французскому патенту укажем, что резонатор, составленный из верхнего узкого и нижнего широкого цилиндров

(рис. 4), имеет период собственных колебаний меньший, чем резонатор из одного цилиндра (рис. 3а) при той же глубине погружения. А именно, период его собственных колебаний равен



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\beta \left(\frac{s_2}{s_1} l_1 + l_2 \right)}{g}},$$

где в отличие от предыдущего выражения — $s_1 > s_2$.

Без учета сил инерции в колодце в принципе нельзя было бы получить найденные здесь формулы. Таким образом, силы инерции необходимо учитывать не только в соединительной трубе, но и в колодце.

Рис. 4. Колодец-резонатор с относительно малым периодом собственных колебаний.

НАПОЛНЕНИЕ И ОПОРОЖНЕНИЕ КОЛОДЦЕВ. СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Рассмотрим процесс наполнения колодца при внезапном повышении уровня воды вне колодца.

Основное уравнение (21) движения воды в колодце принимает вид:

$$W \frac{d^2 z}{dt^2} + c \left(\frac{dz}{dt} \right)^2 + z = H, \quad (51)$$

где

$$H = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0; \\ H = \text{const} & \text{при } t \geq 0; \end{cases}$$

индекс 2 у z , как и раньше, мы отбрасываем. Решение ищем для $t \geq 0$. При $H = 0$ для $t > 0$ и ненулевом начальном отклонении имеем случай свободных колебаний.

Так как время t в (51) явно не входит, то порядок уравнения может быть понижен заменой переменной

$$\left(\frac{dz}{dt} \right)^2 = y. \quad (52)$$

Это дает, вместо (51), уравнение

$$\frac{dy}{dt} + \frac{2c}{W} y = \frac{2(H-z)}{W}, \quad (53)$$

которое нужно решать отдельно для $\frac{dz}{dt} \geq 0$ и $\frac{dz}{dt} < 0$. Решением уравнения (53) для каждого из указанных случаев является

$$y = e^{-\int \frac{2c}{W} dz} \left(\int \frac{2(H-z)}{W} e^{\int \frac{2c}{W} dz} dz + C \right), \quad (54)$$

где e — основание натуральных логарифмов;

C — произвольная постоянная, определяемая из начальных условий.

Функция $z = z(t)$ может быть найдена как решение уравнения

$$\frac{dz}{dt} - \sqrt{y(z)} = 0 \quad (55)$$

или же как обратная функции

$$t = \int \frac{dz}{y(z)} \quad (56)$$

в общем случае приближенными способами интегрирования.

Колодец с постоянным по высоте поперечным сечением. Для колодца, изображенного на рис. 5, имеем

$$s_x = \begin{cases} s_1 + \theta x & \text{при } 0 \leq x < l_1, \\ s_2 & \text{при } l_1 \leq x \leq l_1 + l_2 + z; \end{cases}$$

здесь θ — коэффициент, определяющий рас-
труб соединительной трубы.

В данном случае

$$W = a + bz, \quad (57)$$

где

$$a = \frac{\beta}{g} \left(\frac{s_2}{\theta} \ln \frac{s_1 + \theta l_1}{s_1} + l_2 \right), \quad (58)$$

$$b = \frac{\beta}{g}. \quad (59)$$

Решением уравнения (53), отвечающим начальным условиям $y=0$ при $z=z_n$, является

$$y = \left(H + \frac{a}{b + 2c} \right) \frac{1 - \sigma}{c} + \frac{2}{b + 2c} (\sigma z_n - z); \quad (60)$$

здесь

$$\sigma = \left(\frac{a + bz_n}{a + bz} \right)^{\frac{2c}{b}}.$$

Приведем численный пример. Для колодца имеем следующие данные:

$$a = 0,459 \text{ сек.}^2; b = \frac{\beta}{g} = 0,102 \text{ сек.}^2/\text{м},$$

$$c = \begin{cases} 1,36 \text{ сек.}^2/\text{м} & \text{при } \frac{dz}{dt} > 0, \\ -1,26 \text{ сек.}^2/\text{м} & \text{при } \frac{dz}{dt} < 0; \end{cases}$$

$$H = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0, \\ 1 \text{ м} & \text{при } t \geq 0. \end{cases}$$

Начальные условия: $y=0$ при $z=0$. Учитывая начальные условия, согласно (60), получаем

$$y = 0,855 (1 - \sigma) - 0,709z$$

или

$$\frac{dz}{dt} = \sqrt{0,855 (1 - \sigma) - 0,709z}.$$

Последовательным дифференцированием этого выражения можно получить производные старшего порядка и представить z в виде степен-

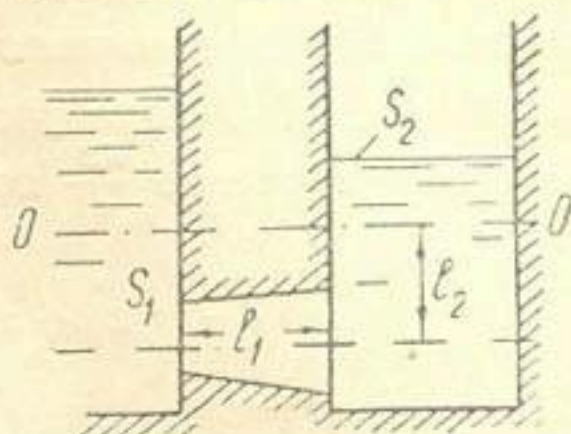


Рис. 5. Колодец с сечением, постоянным по высоте.

ного ряда

$$z = z_0 + z'_0 \Delta t + \frac{z''_0}{2} \Delta t^2 + \frac{z'''_0}{6} \Delta t^3 + \frac{z^{IV}_0}{24} \Delta t^4 + \dots$$

Это выражение дает возможность найти значение z вблизи известного значения $z = z_0$. Применяя прием аналитического продолжения, можно рассчитать всю кривую $z = z(t)$ до того момента, когда $\frac{dz}{dt}$ делается равной нулю. В ходе расчета удобно производить проверку точности, вычисляя значение $\frac{dz}{dt}$ по исходному уравнению и с помощью ряда

$$\frac{dz}{dt} = z'_0 + z''_0 \Delta t + \frac{z'''_0}{2} \Delta t^2 + \frac{z^{IV}_0}{6} \Delta t^3 + \dots$$

Проверка подстановкой решения в исходное уравнение избавляет от необходимости исследовать сходимость ряда, а также позволяет судить о нужном количестве его членов.

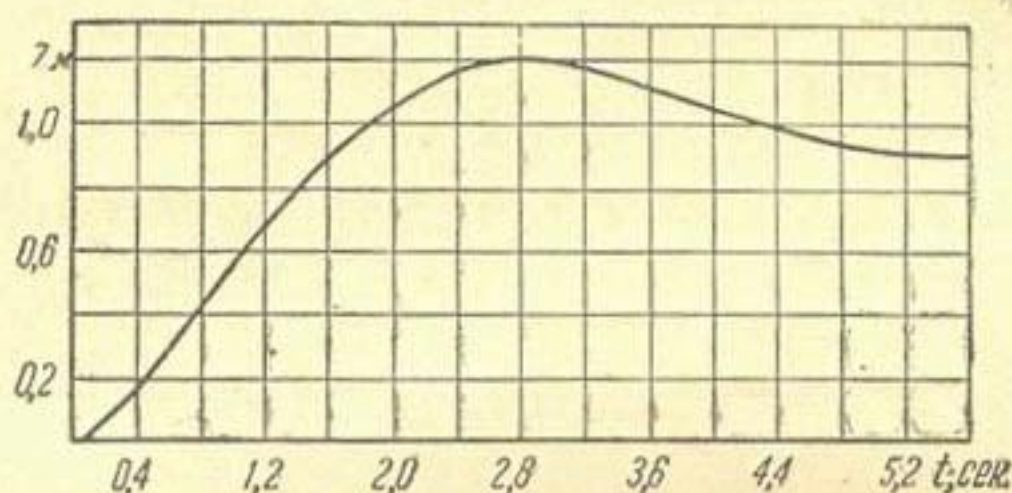


Рис. 6. Кривая времени наполнения колодца с учетом сил инерции.

Производная $\frac{dz}{dt}$ первый раз обращается в нуль при $t = 2,9$ сек., координата зеркала воды при этом $z = 1,2$ м. Далее решаем уравнение (60), где теперь

$$c = -1,26 \text{ сек}^2/\text{м}; \quad z_m = 1,2 \text{ м},$$

$$\frac{dz}{dt} = \sqrt{0,826z - 0,348\sigma - 0,643}.$$

Интегрирование тем же способом ведем до $t = 5,6$ сек., когда $\frac{dz}{dt} = 0$ и $z = 0,88$ м. Затем следовало бы решать уравнение (60) при новых условиях и т. д. Результаты решения до момента времени $t = 5,6$ сек. представлены на рис. 6.

Критерием влияния сил инерции может служить разность

$$\delta = z_m - H,$$

где δ — первый выброс уровня воды в колодце над уровнем воды вне его;

z_m — первый максимум функции $z = z(t)$.

Первый максимум z_m является корнем трансцендентного уравнения

$$\left(H + \frac{a}{b+2c}\right) \frac{1-q(z_m)}{c} - \frac{2}{b+2c} z_m = 0.$$

Если первый выброс δ небольшой, то можно обойтись построением кривой $z(t)$ без учета силы инерции по обычной формуле, приведенной в учебниках гидравлики.

Сосуд Д. Бернулли. Еще более частный случай доставляет нам конструкция, изображенная на рис. 7, — колодец с отверстием в дне и без соединительной трубы. Движение воды именно в таких сосудах рассматривал Д. Бернулли в седьмой части своего труда [1].

Для колодца (рис. 7) имеем

$$l_1 = 0; \quad a = \frac{\beta}{g} l_2; \quad W = a + bz = \frac{\beta}{g} (l_2 + z);$$

$$G = \zeta_{\text{дл}} + \zeta_{\text{в.р}},$$

$$N = \zeta_{\text{дл}} + \zeta_{\text{отв}} \left(\frac{s_2}{\xi s_1} \right)^2,$$

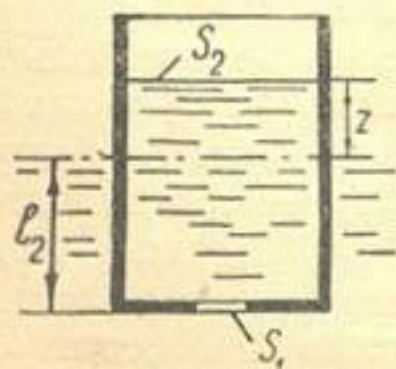


Рис. 7. Сосуд Д. Бернулли.

где $\zeta_{\text{дл}}$ — коэффициент сопротивления по длине;

$\zeta_{\text{в.р}}$ — коэффициент сопротивления внезапного расширения;

$\zeta_{\text{отв}}$ — коэффициент сопротивления отверстия при вытекании воды.

Все перечисленные выше коэффициенты сопротивлений в гидравлике определены лишь для установившегося движения, и применение их для неустановившегося движения является допущением.

Приняв $\alpha_2 = 1$, получаем

$$c = \begin{cases} \frac{1}{2g} (1 + \zeta_{\text{дл}} + \zeta_{\text{в.р}}) & \text{при } \frac{dz}{dt} > 0, \\ \frac{1}{2g} \left[1 - \zeta_{\text{дл}} - \zeta_{\text{отв}} \cdot \left(\frac{s_2}{\xi s_1} \right)^2 \right] & \text{при } \frac{dz}{dt} < 0. \end{cases}$$

Будем рассматривать свободные колебания ($H = 0, z_n \neq 0$). Для подъема воды в сосуде, используя (53), получаем уравнение

$$\frac{dy}{dz} + \frac{1 + \zeta_{\text{дл}} + \left(\frac{s_1}{s_2} - 1 \right)^2}{\beta (l_2 + z)} y = - \frac{2gz}{\beta (l_2 + z)}$$

и для спуска —

$$\frac{dy}{dz} + \frac{1 - \zeta_{\text{дл}} - \zeta_{\text{отв}} \left(\frac{s_2}{\xi s_1} \right)^2}{\beta (l_2 + z)} y = - \frac{2gz}{\beta (l_2 + z)}.$$

Если положить $\frac{\xi}{\sqrt{\zeta_{\text{отв}}}} = 1$ и $\beta = 1$, пренебrecь потерями по длине, то последнее уравнение совпадает с тем, что получил Д. Бернулли ([1], стр. 182)¹.

При сравнении полученного нами уравнения для подъема с тем, что имеется для соответствующего случая у Бернулли ([1], стр. 194), необходимо иметь в виду, что Д. Бернулли, во-первых, не учитывал потерь по длине и, во-вторых, коэффициент сопротивления внезапного расширения брал равным

$$\zeta_{\text{в.р}} = \left(\frac{s_2}{s_1} \right)^2 - 1,$$

¹ Следует учитывать разницу в обозначениях.

по современным же представлениям —

$$\zeta_{в.р.} = \left(\frac{s_2}{s_1} - 1 \right)^2.$$

Д. Бернулли для проверки своей теории произвел пять опытов. Анализ этих опытов позволит сделать несколько дополнительных замечаний¹.

В первом опыте была взята стеклянная цилиндрическая трубка, открытая с обоих концов. Внутренний диаметр был равен примерно 4 линиям². Эту трубку Бернулли опустил в широкий сосуд на глубину 44 линии, прикрыл верхнее отверстие пальцем, чтобы вода не могла выйти, и поднял трубку на 22 линии. Таким образом он получил следующие условия: $z_n = 22$ лн, $l_2 = 22$ лн, $H = 0$. Убрав палец, Бернулли наблюдал снижение воды на 9,5 лн ниже наружного уровня. По расчету Бернулли вода должна была опуститься на 13 лн. Разницу в 3,5 лн он отнес за счет прилипания воды к стенке трубки. Затем Бернулли определял подъем воды в той же трубке при начальном условии $z_n = -9,5$ лн и прежней глубине погружения трубки. Опыт дал подъем в 8 лн над внешним уровнем воды, в то время как по расчету должно быть 9,5 лн. И это несоответствие Бернулли объяснил прилипанием воды к стенке трубы. Из [1] не видно, однако, какие проявления прилипания имел в виду Бернулли. Желая уточнить причины несоответствия результатов опытов и расчетов, мы произвели вычисление по нашим формулам с учетом потерь по длине. Задаваясь разумными значениями потерь по длине, мы не получили ощутимой разницы с расчетами Бернулли. Это привело нас к предположению о том, что, кроме потерь по длине, при колебаниях жидкостей в сосудах существенную роль могут играть силы поверхностного натяжения, обусловленные явлением смачивания на границе трех сред — жидкой, твердой и газообразной. Бернулли применял стеклянную трубку, а стекло, как известно, смачивается водой. В пользу правдоподобия предположения о заметной роли сил поверхностного натяжения говорит также такое наблюдение Бернулли: размах колебаний сильно уменьшался, когда трубки были более узкие и длинные ([1], стр. 199).

Во втором опыте Бернулли использовал ту же трубку, но закрытую снизу пластиной с площадью отверстия в $\sqrt{2}$ раза меньшей, чем площадь отверстия трубы, и снова наблюдал спуск и подъем воды. Отсутствие достаточно точных данных о коэффициенте сопротивления $\zeta_{отв}$ в случае спуска воды не позволяет уточнить расчет Бернулли. Отсюда, между прочим, видно, что для выяснения сил

¹ Необходимо отметить, что в [1] имеется много опечаток (описок Бернулли?). Приведем некоторые из них, найденные нами вычислениями и сопоставлением отдельных мест текста.

Страница	Строка	Напеча- тано	Должно быть
184	2 сн.	n	n^2
199	6 сн.	4 дюймов	4 линий
200	15 сн.	1:2	1: $\sqrt{2}$
200	4 св.	30	13

² В старой русской системе мер 1 лн (линия) = 0,1 дм. (дюйм) = 2,54 мм.

сопротивления особенно полезны опыты, аналогичные первому опыту Бернулли, ибо для совершенно открытой снизу трубки коэффициент сопротивления известен и равен $\zeta_{\text{отв}} = 1$. Для определения подъема воды Бернулли поступил следующим образом. Закрыв пальцем отверстие в нижней части трубы, он погрузил совершенно пустую трубку на глубину 18 лн. Убрав затем палец, он наблюдал подъем воды в трубке на 8 лн выше уровня окружающей воды, вместо 9 лн по расчету. Расчет, произведенный по нашим формулам с учетом только потерь на внезапное расширение, дает подъем 15,5 лн. Бернулли считал, что для отношения площадей сечений трубы и отверстия, близких к $\sqrt{2}:1$ и $2:1$, его теория дает заниженные значения подъема воды. Правильность этого положения можно подтвердить сравнением двух способов определения потерь на внезапное расширение — способа, примененного Бернулли, и современного:

$$\text{у Бернулли} \quad \zeta_{\text{в.р}} = \left(\frac{s_2}{s_1} \right)^2 - 1,$$

$$\text{по современным представлениям} \quad \zeta_{\text{в.р}} = \left(\frac{s_2}{s_1} - 1 \right)^2.$$

При $\frac{s_2}{s_1}$, близком к 1, по обеим формулам — $\zeta_{\text{в.р}} \approx 0$. И при $\frac{s_2}{s_1}$, достаточно большим, по обеим формулам имеем $\zeta_{\text{в.р}} \approx \left(\frac{s_2}{s_1} \right)^2$. Если же, например, $\frac{s_2}{s_1} = 2$, то по первой формуле $\zeta_{\text{в.р}} = 2^2 - 1 = 3$, а по второй — $\zeta_{\text{в.р}} = (2 - 1)^2 = 1$. Сопротивление для средних значений $\frac{s_2}{s_1}$ фактически меньше, чем по формуле Бернулли, отсюда подъем воды получается больше, чем по его расчету. По-видимому, если палец в опыте Бернулли можно было мгновенно убрать на значительное расстояние, то подъем воды оказался больше 8 лн. Следует отметить, что и наш расчет не может считаться очень точным, так как принятый способ учета потерь на внезапное расширение, строго говоря, применим лишь для установившегося движения.

Третий опыт Бернулли предпринял специально, чтобы еще раз убедиться в правильности своего положения о том, что при средних величинах отверстия подъем воды должен быть больше, чем получается по его формулам. С целью уменьшения влияния посторонних помех он взял более широкую трубку; диаметр трубки был 7 лн, длина 46,5 лн. Отношение площадей сечений отверстий $\frac{s_2}{s_1} = 1,86$. Трубка была изготовлена из железа, так как под рукой, указывает Бернулли, не оказалось стеклянной. На этот раз Бернулли затыкал верхнее отверстие и определял, на какую глубину должна быть погружена в воду трубка для того, чтобы при быстром открытии отверстия вода поднималась до края трубки. Эта глубина оказалась равной 33 лн. Вода в трубке, следовательно, поднималась на 13,5 лн выше уровня окружающей воды. Бернулли пишет, что по расчету вода должна была подняться на 11 лн; но, вероятно, он ошибся — по его формулам получается 9,5 лн. Этим опытом Бернулли подтвердил, что его теория для средних размеров отверстий дает заниженное значение подъема воды. При вычислении по нашим формулам подъем составляет около 19 лн. Поднялась бы на такую высоту вода в более длинной трубке, если бы отсутствовали силы поверхностного натяжения, — сказать трудно.

Четвертый опыт был произведен со стеклянной трубкой диаметром приблизительно 3 *лн*. Эту трубку Бернулли погружал в воду на глубину 20 *дм* и наблюдал колебания в ней при начальном отклонении в 1 *дм*. Он нашел, что эквивалентная длина математического маятника равна примерно 22 или 23 *дм*. Из этого он сделал вывод, что прилипание воды к стенкам трубы несколько „замедляет времена колебаний“ (увеличивает период колебаний) по сравнению с теоретическим. Бернулли также отметил, что частота колебаний и пробеги заметно не изменялись для разных величин отверстий, как это и должно быть по теории для глубоко погруженных сосудов.

Наконец, в последнем, пятом опыте Бернулли исследовал колебания в конической трубке длиной 21 *дм*. Одно отверстие было в два с лишним раза больше другого. Бернулли провел опыты, погружая трубку один раз узким концом, другой раз широким. Результаты опытов хорошо согласуются с теорией. Отсюда делаем вывод, что требование строго цилиндрической формы сосуда в месте колебания уровня может быть ослаблено.

Десятипроцентное расхождение у Бернулли между расчетными и экспериментальными периодами колебаний воды в четвертом и пятом опытах, на наш взгляд, можно скорее объяснить не прилипанием воды к стенкам, а тем, что Бернулли не учитывал корректив скорости β .

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернулли Д. Гидродинамика, или записки о силах и движениях жидкостей, М., АН СССР, 1959.
 2. Егиазарян Б. О. „Изв. АН АрмССР“, серия техн., 1958, XI, 2.
 3. Чиж И. Б. Колебания воды в водомерном колодце, Труды САНИИРИ, вып. 102, Ташкент, 1959.
-

В. Е. КРАСНОВ

ВОДОМЕРНАЯ ПРИСТАВКА В ВИДЕ ТОНКОГО РЕБРА У ОТВЕРСТИЯ В ЗАБРАЛЬНОЙ СТЕНКЕ ПЕРЕД ЗАТВОРОМ СООРУЖЕНИЯ

На крупных магистральных и распределительных каналах ирригационных систем измерение расходов воды производят методом русловой гидрометрии, т. е. по средней скорости и живому сечению потока. При этом для створа гидрометрического поста по нескольким замерам с помощью гидрометрической вертушки находят зависимость расхода от наполнения в канале

$$Q = f(H), \quad (1)$$

которой пользуются для повседневного наблюдения за расходами воды по рейке.

Если русло канала в створе гидрометрического поста неустойчиво (размыв, заиление), то в приведенную зависимость периодически вводят поправки.

Для гидрометрического створа, находящегося в зоне переменного подпора, который создается нижерасположенным сооружением, получить зависимость $Q = f(H)$ нельзя. В этом случае расход воды достаточно точно определяют только с помощью вертушки, на основании разового замера, при неизменном положении затворов сооружения, создающего подпор.

Русловой метод учета головных расходов на крупных каналах не всегда отвечает требованиям оперативного и точного вододеления.

Для измерения расходов эксплуатационная гидрометрия должна использовать более совершенные методы, обеспечивающие оперативность и точность при распределении воды, а также облегчающие автоматизацию и телемеханизацию производственных процессов управления водой.

Необходимо, чтобы крупные сооружения-регуляторы обладали водомерными свойствами, обеспечивающими автоматическое измерение расходов с помощью водоучитывающих приборов.

Головные регуляторы, относящиеся по конструкции к трубчатым многоочковым сооружениям, легко переоборудуются в водомерные с помощью определенного вида приставок [1, 2] в форме коротких труб.

Открытые двух-или многоочковые сооружения, которые имеют в понурной части отдельные вертикальные стенки (бычки), также можно переоборудовать в водомерные. Для таких сооружений рекомендуется приставка в виде ребра у отверстия в забральной стенке, которую помещают перед затвором в каждом пролете.

Приводим описание конструкции такой приставки и результаты лабораторных исследований.

ОПИСАНИЕ И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ КОНСТРУКЦИИ

Если в пролете сооружения на некотором расстоянии от затвора установить забральную стенку, а у отверстия в этой стенке поместить тонкое ребро, несколько удаленное от верхней и боковых кромок входа, то это ребро обеспечит водомерность.

Принцип действия такой приставки состоит в следующем. Вода, проходящая через отверстие, обтекает ребро и создает „затененную“ зону потока с пониженным давлением или зону вальца над основным потоком за кромками ребра у отверстия. Напор воды в канале перед забральной стенкой служит большим давлением, а в „затененной“ зоне потока образуется меньшее давление.

По разности указанных двух давлений определяют расход воды, проходящий через отверстие, по формуле

$$Q = K\omega\sqrt{2gZ_k}, \quad (2)$$

где K — коэффициент расхода водомера, имеющий определенное и постоянное значение;

ω — площадь сечения отверстия в забральной стенке;

Z_k — разность давлений в сечениях верхнего бьефа и за кромкой ребра.

Сумма расходов нескольких отверстий составляет расход всего сооружения.

Автоматизация измерений расхода обеспечивается применением дифференциальных приборов.

МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Водомерную приставку в виде ребра у отверстия в забральной стенке исследовали в лабораторных условиях на моделях сооружений с различным соотношением сторон отверстия. Масштаб моделей был принят равным 1:10 от натурального размера сооружения. Моделирование производили по Фрудру.

На модели при высоте отверстия, равной $a = 100$ мм, ширина отверстия задавалась из соотношения $b:a = 1; 2$ и 3 .

Размеры ребра отнесены к высоте отверстия и приняты по аналогии с данными результатов исследований, проведенных В. И. Ханжонковым по вопросу уменьшения аэродинамического сопротивления отверстий кольцевыми ребрами и уступами [3]: длина ребра $L_{\text{реб}} = 0,25 a$; расстояние от верхней и боковых кромок отверстия до ребра $l_{\text{реб}} = 0,20 a$; толщина ребра $t_{\text{реб}} = 0,03 a$. Забральная стенка с ребром помещена перед затвором на расстоянии, равном высоте отверстия a , с той целью, чтобы избежать влияния открытия затвора на коэффициент расхода водомера.

Влияние положения затвора на величину коэффициента K для водомерных приставок было изучено ранее, и результат исследований приведен в статье [4].

Методика лабораторных исследований состояла в следующем. Через модель пропускали установившийся расход воды, который измеряли мерником с ошибкой $\pm 0,5\%$.

Открытие затвора изменяли в пределах от $h_{\text{ш}} = a$ до $h_{\text{ш}} = 0,25 a$ и напоры перед забральной стенкой — от $H = 1,5 a$ до $H = 3,5 a$.

На батарею пьезометров производили отбор давлений в верхнем бьефе, в четырех точках по длине ребра (через 5 мм), в щитовой шахте и в нижнем бьефе отвода.

Схема модели изображена на рис. 1.

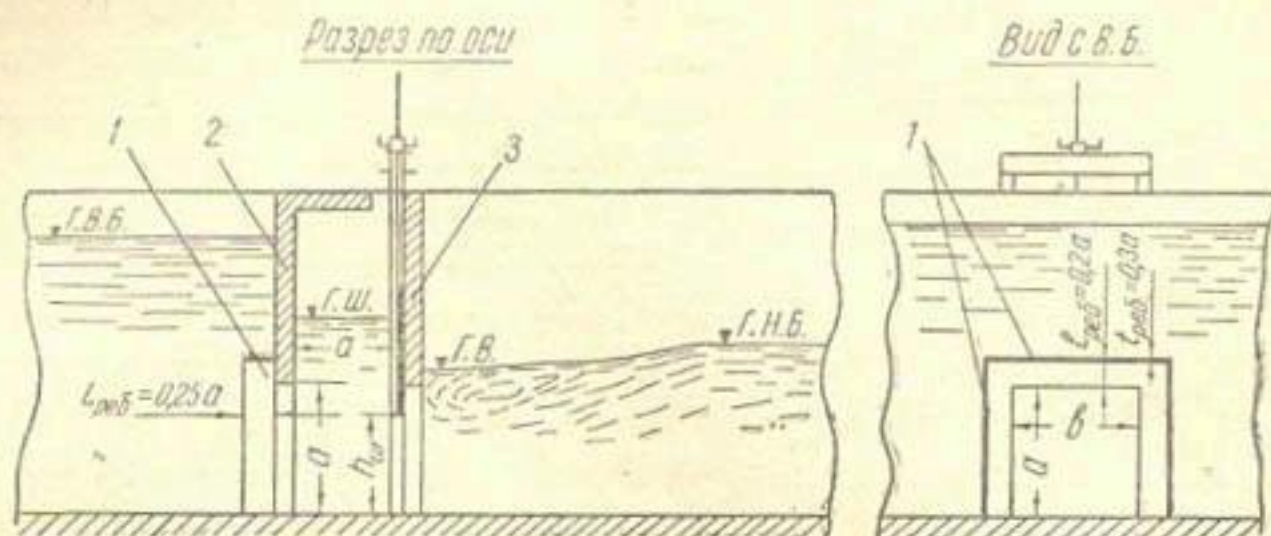


Рис. 1. Схема модели открытого регулятора с приставкой в виде ребра у отверстия в забральной стенке:

1—тонкое ребро, 2—забральная стенка с отверстием, 3—затвор.

По замеренному расходу и разности давлений Z_k — между верхним бьефом и точками отбора за кромкой ребра — определяли коэффициент расхода водомера K по формуле

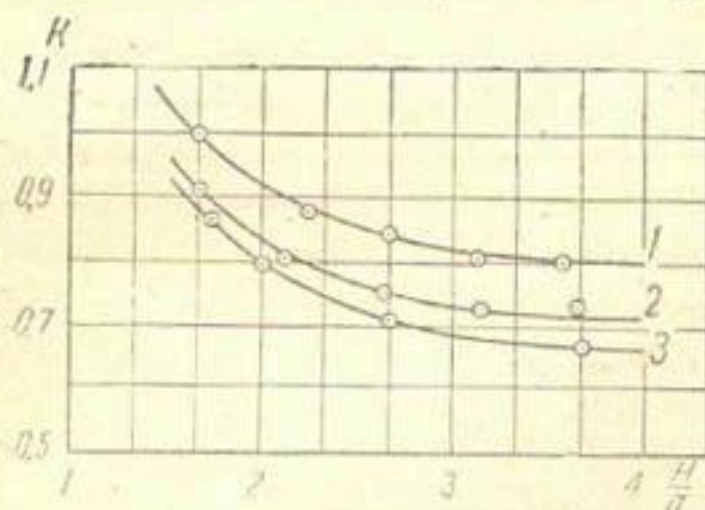


Рис. 2. График зависимости

$K = f\left(\frac{H}{a}\right)$ для приставки в виде ребра у отверстия в стенке:

1—для отверстия $b:a=1$; 2—для отверстия $b:a=2$, 3—для отверстия $b:a=3$.

$$K = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gZ_k}}, \quad (3)$$

где

Q — расход воды, измеренный по мернику;

$\omega = b \cdot a$ — площадь отверстия в стенке.

Аналогичным образом определяли коэффициент расхода системы μ_c по разности горизонтов воды в верхнем и нижнем бьефе Z_c

$$\mu_c = \frac{Q}{\omega \sqrt{2gZ_c}}. \quad (4)$$

На основании проведенных исследований на трех моделях водомерных сооружений с отверстиями $b:a = 1$, $b:a = 2$ и $b:a = 3$, получены следующие результаты.

1. Коэффициенты расхода водомера K зависят от напора в верхнем бьефе и различных соотношений сторон отверстия. Кривые зависимости $K = f\left(\frac{H}{a}\right)$ при соотношениях $b:a = 1$, $b:a = 2$ и $b:a = 3$ и четырех открытиях затвора приведены на рис. 2. Анализ кривых графика показывает, что при увеличении напора перед забральной стенкой от $H = 1,5a$ до $H = 2,5a$ для отверстий с отношением $b:a$ от 1 до 3 численное значение коэффициента K уменьшается и при напоре $H > 2,5a$ практически остается постоянным.

2. Во всех сериях опытов на моделях приставок при ширине отверстий $b:a$ от 1 до 3 коэффициенты расхода водомера практически

не зависят от открытия затвора и остаются неизменными при заданном напоре в верхнем бьефе.

3. При анализе значений коэффициентов расхода водомера по четырем точкам (сечениям) отбора давлений по длине ребра установлено, что для сечений, отстоящих от кромки ребра на расстоянии $l \geq 0,2 L_{\text{реб}}$, коэффициенты K остаются постоянными. Отсюда следует, что отбор давления на водоучитывающий прибор можно производить

в любой точке по длине ребра по оси сооружения (в указанных пределах значения l).

4. Для исследованной схемы модели сооружения, состоящего из забральной стенки с ребром у отверстия, шахты длиной a и отверстия, с затвором, коэффициенты μ_c определялись при поднятом затворе по разности горизонтов воды в верхнем и нижнем бьефах. Значения коэффициентов расхода системы и общего коэффициента гидравлического сопротивления для разной ширины отверстий в стенке приведены на графике рис. 3.

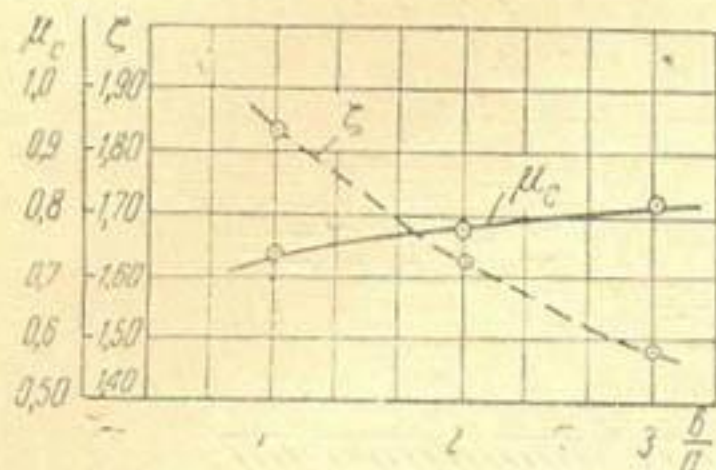


Рис. 3. График зависимости $\mu_c = f\left(\frac{b}{a}\right)$ и $\zeta = f\left(\frac{b}{a}\right)$ для модели сооружения с приставкой в виде ребра у отверстия в стенке.

Из графика видно, что с увеличением ширины отверстия при постоянной высоте коэффициенты μ_c возрастают, а коэффициенты сопротивления ζ соответственно уменьшаются. Это объясняется тем, что при увеличении ширины отверстия в принятых пределах ($b:a = 1 \div 3$) снижается доля бокового сжатия потока в приставке относительно площади отверстия, следовательно, уменьшается сопротивление входа, а пропускная способность¹ несколько увеличивается.

Коэффициент μ_c служит для расчета пропускной способности сооружения, имеющего перед затвором приставку.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПРИСТАВКИ В ВИДЕ РЕБРА У ОТВЕРСТИЯ В СТЕНКЕ

Приставку в виде ребра у отверстия в стенке рекомендуется в основном использовать для переоборудования гидротехнических сооружений открытого типа, имеющих один или несколько пролетов, в целях придания им водомерных свойств. Для этого желательно чтобы сооружение имело следующие характеристики:

- 1) напор в верхнем бьефе $H \geq 2,5a$ и колебания горизонта в пределах $\Delta H = a$, где a — высота отверстия в забральной стенке;
- 2) ширина отверстия (пролета) $b = (1,0 - 2,5) a$;
- 3) расчетный перепад системы или разность горизонтов верхнего и нижнего бьефов $Z_c \geq 0,5$ м.

Наличие указанных характеристик обеспечит нормальную работу водомерного сооружения при затопленном и свободном истечении в нижний бьеф.

Возможны напоры в верхнем бьефе $H \geq 1,6a$, тогда колебания горизонта верхнего бьефа не должны превышать $\Delta H = \pm 0,2a$.

¹ Для увеличения пропускной способности водомерных сооружений инж. И. Б. Хамадов в 1960 г. рекомендовал применять плавнообтекаемые входы и полки.

Примерная схема компоновки открытого многопролетного водомерного сооружения с приставкой в виде ребра показана на рис. 4.

Применение приставки в виде ребра не ограничивается приведенной схемой. Она с успехом может быть использована при конструировании трубчатых сооружений для водозабора из водохранилищ.

При переоборудовании существующих сооружений в водомерные следует иметь в виду, что введение приставки в конструкцию открытого регулятора с плоскими затворами увеличивает пропускную способность сооружения в целом, ибо коэффициент расхода системы водомерного сооружения, отнесенный к сечению отверстия в стенке (см. рис. 3), больше коэффициента расхода системы открытого сооружения при затопленном истечении из-под затвора (0,62—0,64).

Расчет отверстия в забральной стенке для затопленного истечения производят по формуле

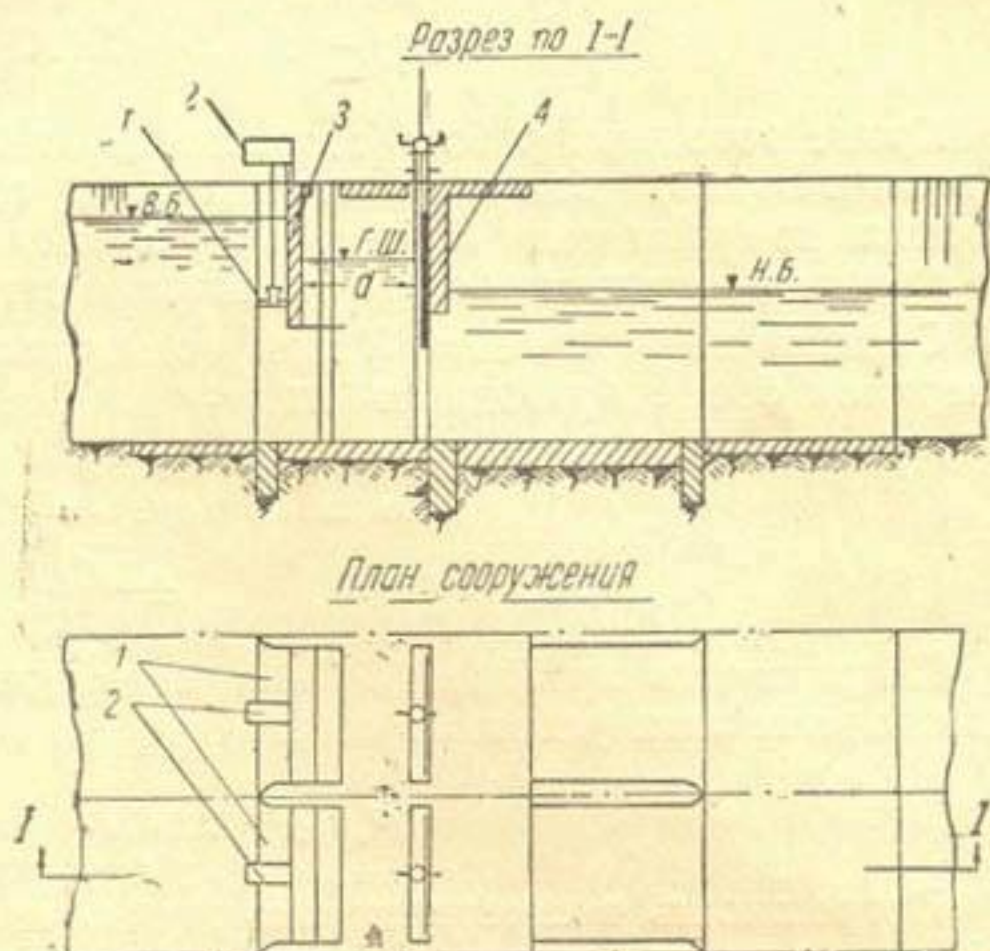


Рис. 4. Схема водомерного открытого многопролетного сооружения:

1—тонкое ребро с патрубком прибора, 2—водоучитывающий прибор, 3—забральная стенка, 4—затвор.

$$Q = \mu_c \omega \sqrt{2gZ_c}, \quad (5)$$

где μ_c принимается по рис. 3 в зависимости от отношения $b:a$.

Высота отверстия должна быть равной или больше высоты максимального открытия затвора при нормальных условиях работы сооружения.

Учет расхода воды, проходящей через водомерное сооружение с ребром у отверстия в стенке, производят по перепаду давлений Z_k в сечениях верхнего бьефа и за острой кромкой ребра с помощью прибора — динамического расходоуказателя — ДРС-60. С этой целью патрубок прибора устанавливают в отверстие в центре ребра над верхней кромкой входа. Поршень, помещенный в патрубок, воспринимает указанный перепад давлений, а механизм прибора преобразует его в показание расхода на шкале циферблата.

Расход многопролетного сооружения находят суммированием показаний приборов.

Для разбивки расходной шкалы на циферблате прибора пользуются формулой (2). Порядок расчета изложен в инструкции по эксплуатации прибора ДРС-60.

Погрешность в определении расхода на водомерном сооружении с описанной конструкцией приставки складывается из трех величин:

- а) погрешности коэффициента K водомера;
- б) погрешности прибора в измерении перепада давлений и преобразовании его в показание расхода;

в) погрешности в измерении площади отверстия в забральной стенке.

Погрешность коэффициента K определяется ошибкой опыта при заданном постоянном напоре H и различных $h_{\text{ш}}$. Эта ошибка составляет

$$\sigma_K = \pm 1,5 - 2\%.$$

Кроме того, при работе сооружения возможно изменение горизонта воды в верхнем бьефе H , что вызывает соответственное изменение значения коэффициента K (рис. 2). Поэтому задают пределы изменения напора в верхнем бьефе и учитывают ошибку коэффициента $\sigma_{K(H)}$.

Ошибки коэффициента K при возможных колебаниях горизонта в верхнем бьефе приводятся ниже:

H	От 1,5 a до 2 a	От 2 a до 2,5 a	От 2,5 a и более
$\sigma_{K(H)}$	± 4	± 4	± 3

Погрешность прибора ДРС-60 в измерении перепада давлений в производственных условиях составляет

$$\sigma_{\text{приб}} = \pm 2\%.$$

Погрешность в измерении площади сечения отверстия в забральной стенке можно принять равной

$$\sigma_{K(\omega)} = \pm 1\%.$$

Общая погрешность в измерении расхода сооружения определяется как средняя квадратичная ошибка приведенных выше погрешностей

$$\sigma_{\text{соор}} = \sqrt{\sigma_K^2 + \sigma_{K(H)}^2 + \sigma_{\text{приб}}^2 + \sigma_{K(\omega)}^2}.$$

Если принять напор в верхнем бьефе постоянным или изменяющимся в пределах $\Delta H = \pm 0,2a$, а при $1,6a \leq H \leq 3a$, то общая погрешность измерения расхода составит

$$\sigma_{\text{общ}} = \pm 5 \div 3,6\%.$$

Величина общей погрешности не превышает установленной точности измерения расходов на оросительных каналах.

ВЫВОДЫ

1. Применение водомерной приставки в виде ребра у отверстия в забральной стенке позволяет автоматизировать учет расхода на открытых гидротехнических сооружениях.

2. Введение в состав сооружения забральной стенки с ребром у отверстия не снижает пропускной способности сооружения в целом.

3. Если бычки имеют плавное очертание в плане, то боковые ребра у отверстия не устанавливаются. При этом сохраняются условия, обеспечивающие указанную пропускную способность сооружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Б у т ы р и н М. В. Водомерные сооружения для оросительных каналов на расход от 2 до 20 м³/сек, В сб. „Вопросы гидротехники“, вып. 4, Ташкент, АН УзССР, 1962.
 2. К р а с н о в В. Е. Водомерные приставки как средство автоматизации учета расходов воды на ирригационных каналах, В сб. „Вопросы гидротехники“, вып. 4, Ташкент, АН УзССР, 1962.
 3. Х а н ж о н к о в В. И. Уменьшение аэродинамического сопротивления отверстий кольцевыми ребрами и уступами, В сб. „Промышленная аэродинамика“, № 12, М., Оборонгиз, 1959.
 4. К р а с н о в В. Е. Водомеры-регуляторы для внутрихозяйственной сети, Труды САНИИРИ, вып. 94, Ташкент, САНИИРИ, 1958.
-

СОДЕРЖАНИЕ

И. Б. Хамадов, Н. Ш. Хамадова. К вопросам истории развития автоматических водорегулирующих устройств, их классификации и выбора.	5
М. П. Сальников. Методика расчета водомера с сегментной диафрагмой для мелиоративной насосной станции.	34
А. А. Гартунг. Натурные исследования сегментных затворов-автоматов.	47
А. С. Старковский, А. В. Соколов. Применение число-импульсного телеизмерения на гидрометрических пунктах.	59
К. А. Авлянова. Средства автоматики и телемеханики на вертикальных скважинах.	66
И. Б. Чиж. К гидравлической теории водомерного колодца.	85
В. Е. Краснов. Водомерная приставка в виде тонкого ребра у отверстия в забальной стенке перед затвором сооружения.	103
