

6
А-2

Министерство Высшего Образования
Среднеазиатский Политехнический Институт

Аспирант Кеберле С. И.

**АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИФОННЫЕ
ВОДОСБРОСЫ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Ташкент — 1954 г.

І. В В Е Д Е Н И Е

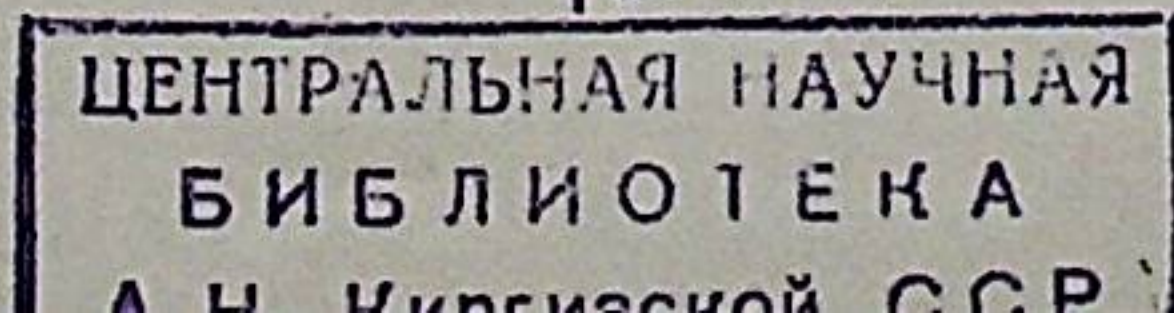
В постановлениях Советского правительства и в директивах XIX съезда Коммунистической партии Советского Союза по пятому пятилетнему плану развития СССР на 1951-1955 гг. указана необходимость завершения механизации основных полевых работ в колхозах, обеспечения высоких темпов наращивания мощностей электростанций, осуществления широкого применения автоматизации производственных процессов.

Одним из технических решений вопросов автоматизации в водном хозяйстве является использование сифонов, применяемых как на каналах оросительных систем, так и на гидротехнических сооружениях различного назначения, в том числе в качестве водосбросов-автоматов при напорных бассейнах гидроэлектростанций. Автоматическое регулирование горизонтов и пропускаемых расходов воды приобрело столь же важное значение, как и электро-механическая автоматика.

Советскими инженерами и учеными достигнуты большие успехи в области теории и строительства сифонных водосбросов. Однако в этой конструкции имелись некоторые недостатки, которые ограничивали ее широкое применение. В результате изучения литературных материалов об исследованных на моделях и в натуре, уже построенных сифонов, а также изучения некоторых проектов, автор полагает, что главнейшими недостатками сифонных водосбросов следует считать следующие:

- 1) Большой подъём уровня воды верхнего бьефа (0,5 м), происходящий при сбросе максимального расхода воды;
- 2) Малый диапазон устойчивого сброса воды (от $Q_{\text{мах}}$ до $0,6 Q_{\text{мах}}$);
- 3) Нежелательная вибрация сооружения при выключении сифона и
- 4) Необходимость предварительного исследования модели каждого строящегося сифонного водосброса до составления его проекта.

72467.



Указанное явилось следствием:

1) отсутствия правильного, последовательно развернутого представления о гидравлических явлениях, происходящих в автоматическом сифоне при включении, устойчивом сбросе частичных расходов воды и выключении его;

2) некоторой неполноты и неточности гидравлических расчетов сифонов;

3) допущения, вследствие этого, ряда конструктивных недостатков, в том числе:

а) несовершенства воздухоприемников регулятора расхода;

б) назначения очертания гребня не по гидравлически наиболее выгоднейшей величине радиуса, прокорректированной экономическими соображениями;

в) высокого расположения откидного носка с подсчетом местоположения его не по назначению, а по условию наименьших потерь;

г) большого погружения выходного сечения сифона под уровень воды, а при истечении в атмосферу — отсутствия колодца в нижней части сифона.

Содействие устранению вышеуказанных недостатков и поставил себе задачей автор, работе которого способствовало также сотрудничество с проектировщиками и эксплуатационниками.

II. ОБЩЕЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ В АВТОМАТИЧЕСКОМ СИФОННОМ ВОДОСБРОСЕ

На основании известных основных положений и специальных исследований, проведенных автором на моделях сифонных сбросов Ак-Кавакской ГЭС № 1 (в 1948-1949 гг.) и Шаариханской ГЭС № 6 (в 1949 г.), а также в натуре на сифонных водосбросах Шаариханской ГЭС № 6 (в 1950 г.), Нижне-Бозсуйской ГЭС № 2 (в 1950 г.), Ак-Кавакской ГЭС № 1 (в 1951 г.) и Нижне-Бозсуйской ГЭС № 3 (в 1953 г.), описанных в диссертации, составлено следующее общее представление о гидравлических явлениях, происходящих в автоматическом сифонном водосбросе, предназначенном для регулирования расходов и отметок горизонтов воды.

При наличии в водотоке избыточного расхода воды в водоеме перед гидроузлом начинается подъем уровня воды. Когда уровень превысит гребень сифона, вода начнет переливаться через него.

Переливающаяся струя по мере понижения приобретает боль-

шую скорость и одновременно с этим интенсивнее аэрируется. Достигнув нижнего колодца струя, создает в ней воронку, в которой аэрация происходит очень интенсивно, так как струя захватывает не мельчайшие частички воздуха, а большие пузырьки его.

В зависимости от толщины переливающегося слоя, высоты падения и характера падения (свободно падающей или прилипшей к стенке струи) и в зависимости от величины живой силы струи, пузырьки воздуха увлекаются падающей водой на разную глубину.

Лишь часть пузырьков воздуха, достигающая некоторой глубины выходит из сифона, а остальная возвращается обратно в разрежаемую часть трубы. Удалению воздуха способствует направление струи в месте встречи ее с водяной „подушкой“, т. е. воронки с образующимися вращающимися вальцами, притом в сторону, направленную к выходу из трубы.

Чем короче путь прохождения аэрированной струи до места, откуда пузырьки воздуха не возвращаются в разрежаемую часть сифона, тем меньше высота переливающегося через гребень слоя воды, соответствующая началу выхода воздуха (лн. в. в.), и тем более интенсивно происходит удаление воздуха из сифона при одной и той же толщине переливающегося слоя воды, т. е. тем больший удаляется расход воздуха при том же расходе воды и тем лучше эксплуатационные свойства сифона.

Для обеспечения наикратчайшего пути движения аэрированной струи под водой, необходимо выполнить следующее:

а) радиус закругления потолка нижнего изгиба (над колодцем) сделать наименьшим возможным по допустимой величине разрежения;

б) струю отбросить откидным носком ближе к противоположной стенке и под небольшим углом (β°) к горизонту;

в) подтопление потолка нижнего изгиба к моменту включения сифона в случае выхода его под уровень воды отводящего канала должно быть не меньше 0,25 м, но и не больше 0,5 м (фиг. 1, 2), т. е. вода нижнего бьефа должна надежно закрывать выход, но и не увеличивать длину пути движения аэрированной струи под водой.

При колебаниях уровня воды отводящего канала более 0,25 м, что обычно бывает, необходимо на выходе из сифона устраивать колодец с порогом (фиг. 3, 4), расположенным на уровне потолка нижнего изгиба и не затопляемым при максимальном уровне нижнего бьефа (в момент включения).

При истечении сифона в атмосферу (на быстроток) устраивается такой же колодец (фиг. 3, 4).

Необходимо заметить, что при удалении воздуха из сифона под струей, отбрасываемой откидным носком, образуется разрежение несколько большее, чем над струей, и в силу этого струя отклоняется вниз, вследствие чего удлиняется путь движения аэрированной струи. Чтобы сохранить выгодное направление струи во время включения, необходимо устроить в боковых стенках на уровне откидного носка ниши, соединенные с нишей, расположенной под откидным носком. Тогда давление будет выравниваться и струя не будет отклоняться вниз.

Рассмотрим далее, что происходит после дальнейшего подъема уровня воды верхнего бьефа, т. е. при h большем $h_{н. в. в.}$

Оказывается, что если к этому моменту воздухоприемное отверстие (фиг. 1, б) регулятора расхода будет закрыто уровнем воды верхнего бьефа, т. е. поступление воздуха в сифон прекратится, то удаление воздуха вызовет разрежение в сифоне, вследствие чего толщина переливающегося слоя на гребне увеличится на величину разрежения, а это в свою очередь вызовет увеличение расхода удаляемого воздуха.

Скорость подъема воды на гребне и расход сбрасываемой воды будут расти в возрастающей степени. В зависимости от объема трубы сифона, через 20—60 сек. сифон включится на максимальный расход.

Если расход накапливания воды окажется меньше максимального расхода сифона, но больше величины минимального устойчивого расхода, то уровень воды в водоеме начнет снижаться, вследствие чего начнет открываться отверстие воздухоприемника и через него в сифон будет поступать не только вода, но и воздух, который снизит расход воды сифона до величины расхода накапливания ($Q_{накапл.}$).

Все последующие изменения лишних расходов будут вызывать соответственное изменение: уровня верхнего бьефа, открытия отверстия воздухоприемника для прохода воздуха, расхода поступающего воздуха до величины, вызывающей соответственное разрежение в сифоне и расхода воды. В результате этого сифон будет сбрасывать только лишние расходы воды, автоматически поддерживая уровень верхнего бьефа (в водоеме) в заранее заданных границах. Для более плавного включения сифона на частичный расход, т. е. без предварительного включения на $Q_{мах}$ и последующего снижения до $Q_{накапл.}$, необходимо, чтобы верхняя кромка воздухоприемника в наименьшем сечении его отверстия превышала на несколько сантиметров $h_{н. в. в.}$

Тогда включение сифона будет происходить следующим образом.

При достижении уровнем воды верхнего бьефа отметки, соответствующей началу выхода воздуха из сифона, т. е. при $h = h_{н. в. в.}$ расход удаляемого воздуха будет равен поступающему и расход воды будет равен расходу простого водослива.

При увеличении отметки верхнего бьефа и, следовательно, увеличении переливающегося через гребень слоя воды, расход удаляемого воздуха будет увеличиваться, а площадь отверстия воздухоприемника, остающаяся открытой для прохода воздуха, будет уменьшаться и, наконец, наступит момент, когда расход поступающего воздуха ($Q_{пост. возд.}$) станет равен расходу удаляемого воздуха ($Q_{удал. возд.}$). Разрежение, соответствующее этому моменту, вызовет превышение отметки переливающейся воды над отметкой верхнего бьефа и соответствующий расход.

Этот расход будет минимальным устойчивым расходом, т. к. при последующем увеличении отметки верхнего бьефа произойдет дальнейшее увеличение переливающегося слоя и, следовательно, увеличение расхода воды и расхода удаляемого воздуха, а расход поступающего воздуха за счет увеличения разрежения опять будет равен расходу удаляемого воздуха, хотя площадь открытой части воздухоприемника будет уменьшаться, т. е. сифон будет устойчиво сбрасывать воду.

Из сказанного ясно, что минимальный устойчивый расход сифона будет тем меньше и, следовательно, диапазон устойчивого сброса воды будет тем больше, чем интенсивнее будет происходить удаление воздуха, т. е. чем меньше будет величина $h_{н. в. в.}$ Автором получены достаточно высокие показатели: сифон, изображенный на фиг. 4, имеет $Q_{мин. уст.} = 0,25 Q_{мах.}$, а на фиг. 2 $Q_{мин. уст.} = 0,15 Q_{мах.}$

При наличии в сбросе нескольких (n) сифонов, включение их делают одновременным за счет смещения отметки гребня или отметки верхней регулирующей кромки воздухоприемника, тогда минимальный устойчивый расход всей батареи сифонов будет равен

$$Q_{мин. бат.} = \frac{0,25}{n} Q_{мах. бат.} \text{ — для первого типа сифона,}$$

$$Q_{мин. бат.} = \frac{0,15}{n} Q_{мах. бат.} \text{ — для второго типа.}$$

Далее, с некоторого момента, увеличение отметки верхнего бьефа вызовет уменьшение расхода поступающего воздуха и, хотя возможность потока удалять воздух будет расти, он будет уда-

лять только поступающее количество, которое будет вызывать в сифоне еще большее разрежение и, следовательно, больший расход.

При расходе воды сифона, равном расходу накопления в верхнем бьефе, рост отметки верхнего бьефа прекратится и сифон устойчиво будет сбрасывать этот расход сколько угодно продолжительное время.

Таким образом, чем больше превышение отметки верхней кромки наименьшего сечения воздухоприемника над отметкой уровня воды верхнего бьефа, соответствующей началу выхода воздуха ($h_{\text{преж.}}$), тем более плавно происходит включение, изменение сбрасываемых расходов и выключение сифона.

В таких сифонах изменение давлений в сифоне происходит плавно, выключение происходит с малого разрежения, конструкция воздухоприемника не имеет большого градиента изменения давлений, прорыв воздуха под входной кромкой сифона исключается малыми входными скоростями течения и значительным заглублением этой кромки; отсутствуют условия для возникновения вибрации; явления кавитации в сифоне предупреждаются назначением радиусов закруглений и сечений в нем, обеспечивающих допустимые величины разрежения.

Если верхнюю кромку воздухоприемника установить ниже $h_{\text{н.в.в.}}$, т.е. с отрицательной величиной $h_{\text{преж.}}$, то при подъеме уровня воды верхнего бьефа выше отметки этой кромки, воздух в сифоне будет сжиматься и подъем воды на гребне будет отставать от уровня ВБ.

До тех пор, пока уровень воды верхнего бьефа не превысит $h_{\text{н.в.в.}}$ на абсолютную величину $h_{\text{преж.}}$, т.е. до тех пор, пока вода в нижнем колодце не опустится, а на гребне переливающейся слой не достигнет высоты $h_{\text{н.в.в.}}$, воздух не будет удаляться из сифона.

После превышения $h_{\text{н.в.в.}}$ переливающаяся струя быстро удаляет весь воздух из сифона, за 20-60 сек. происходит резкое включение сифона на $Q_{\text{мах}}$ и затем, из-за того, что $Q_{\text{накапл.}}$ меньше $Q_{\text{мах}}$, происходит снижение отметки верхнего бьефа и снижение расхода воды до величины частичного расхода, равного лишнему расходу воды.

При малой площади уровня воды верхнего бьефа и большом расходе лишней воды, за время удаления из сифона воздуха может нежелательно высоко подняться уровень воды верхнего бьефа.

Поэтому не рекомендуется $h_{\text{преж.}}$ принимать с отрицательным значением.

Включение сифона на максимальный расход вызывает перед ним спад ($h_{\text{сп. сиф.}}$), а в воздухоприемной камере (фиг. 1) подъем уровня воды на величину скоростного напора подходной скорости

$\left(\frac{V_0^2}{2g}\right)$ и непосредственно перед воздухоприемником вызывает

местный спад ($h_{\text{сп. воздухопр.}}$).

Следовательно, вся высота подъема уровня воды в верхнем бьефе над НПГ при пропуске максимального расхода будет складываться из следующих величин:

$$h_{\text{мах.}} = \pm h_{\text{гр. н.п.г.}} + h_{\text{н.в.в.}} + h_{\text{преж.}} + h_{\text{сп.с.}} + h_{\text{сп. воздухопр.}} - \frac{V_0^2}{2g}$$

где: $h_{\text{гр. н.п.г.}}$ — высота превышения гребня над НПГ.

В сифоне, выполненном подобно изображенному на фиг. 4 и пропускающем максимальный расход (через одну трубу) $20 \text{ м}^3/\text{сек}$ при напоре равном $12,5 \text{ м}$, $h_{\text{мах}} \approx 18 \text{ см}$, $h_{\text{н.в.в.}} \approx 12 \text{ см}$.

В сифоне, изображенном на фиг. 2 или 3, можно получить $h_{\text{н.в.в.}} = 6 \text{ см}$.

Необходимо заметить, что в сифонах, включающихся с помощью водной завесы, величина $h_{\text{н.в.в.}}$ в несколько раз больше, чем в случае включения при наличии колодца. Поэтому устраивать водную завесу не рекомендуется.

Далее: при уменьшении лишних расходов верхнего бьефа до нуля, уровень воды в них будет снижаться, а, следовательно, поступление воздуха в сифон увеличиваться, последнее будет вызывать плавное уменьшение разрежения расхода сбрасываемой воды до минимально устойчивой величины, а затем резкое уменьшение до величины расхода простого водослива или до нуля, в зависимости от того, на какой отметке произойдет выключение сифона.

Отметка выключения зависит от величины площади отверстия воздухоприемника. Чем больше площадь отверстия для поступления воздуха, тем при более высокой отметке произойдет выключение сифона; при малой площади выключение может произойти и значительно ниже отметки гребня.

Площадь отверстия воздухоприемника необходимо определять опытным путем в натуре при пусконаладочных работах для той отметки, на которой желательно выключение. Устанавливать эту площадь с запасом не желательно, так как через большую площадь воздухоприемника будет засасываться больший расход воды, что вызовет большую величину местного спада перед воздухоприемником.

Предварительно площадь отверстия воздухоприемника и воздухопровода следует назначать равной 4% от наименьшего поперечного сечения сифона при подводе воздуха в верхнюю часть его и 6% при подводе воздуха под откидной носок, расположенный в конце изгиба гребня.

Разработанный автором регулятор расхода (фиг. 1, б) позволяет при пусконаладочных работах менять как величину площади отверстия воздухоприемника, так и отметку верхней регулирующей кромки его. Кроме того, этот регулятор расхода дает возможность реализовать интенсивное удаление воздуха из сифона для плавного включения, устойчивого сброса воды и выключения при малой величине местного спада перед воздухоприемником, равной 3—6 см при разрежении в сифоне $h_{\text{взк}} = 6—8$ м. Все ранее известные регуляторы расхода в аналогичных условиях имеют значительно больший местный спад.

Из всего сказанного выше видно, что основные эксплуатационные свойства сифона — $h_{\text{макс}}$, $Q_{\text{мин.уст}}$, вибрация и другие зависят в основном от интенсивности удаления воздуха, последняя хорошо характеризуется высотой $h_{\text{н.в.в.}}$; чем меньше эта величина, тем выше эксплуатационные свойства сифона.

В диссертационной работе более подробно освещены как описанные, так и другие явления, происходящие в сифонах.

III. НЕКОТОРЫЕ ДОПОЛНЕНИЯ И УТОЧНЕНИЯ К ОБЫЧНО РЕКОМЕНДУЕМЫМ ГИДРАВЛИЧЕСКИМ РАСЧЕТАМ СИФОНОВ

На основании критического обзора существующих в литературе рекомендаций для расчета сифона, предложена методика проектирования и расчета его с изменениями и дополнениями автора, в частности, предложено определение следующих величин:

- а) гидравлически наивыгоднейшего радиуса гребня,
- б) положения откидного носка,
- в) размеров регулятора расхода,
- г) времени включения,
- д) максимальной величины разрежения,
- е) максимального подъема уровня воды верхнего бьефа.

А. С увеличением радиуса гребня сифона при прочих равных условиях, суммарный коэффициент сопротивления сифона сначала падает, а затем начинает расти, т. е. в некоторый момент он имеет минимальное значение.

Если составить график зависимости суммарного коэффициента сопротивления на участке верхнего изгиба, равного:

$$\zeta = \zeta_{\text{зак.}} + \zeta_{\text{тр.}} = \frac{l}{4R} \left[0,124 + 0,274 \left(\frac{d_{\text{ср}}}{R} \right)^{3,5} \right] + \frac{2gl}{C_{\text{ср}}^2 R}$$

от величины радиуса гребня, выраженного через $d_{\text{ср.}}$, то из него не трудно будет увидеть, что минимальному значению ζ соответствует радиус гребня, равный

$$r_{\text{гр. min.}} = 1,5 d_{\text{ср.}}$$

Из графика также видно, что при изменении радиуса от $r_{\text{гр.}} = d_{\text{ср.}}$ до $r_{\text{гр.}} = 2d_{\text{ср.}}$ значение коэффициента сопротивления мало изменяется. Последнее позволяет вписываться в заданные габариты сооружения большей частью без снижения коэффициента расхода.

Б. В большинстве сифонов (за исключением сифонов с обратным наклоном труб) откидной носок располагается по условию обеспечения наименьших потерь, а предназначается он для улучшения условий включения. Однако расположение откидного носка по условию наименьших потерь не совпадает с расположением, определенным по назначению.

Поэтому рекомендуется откидной носок располагать так, чтобы он соответствовал назначению, т. е. рекомендуется положение его определять по следующей формуле:

$$y = (0,6—0,8) a,$$

где: y — превышение откидного носка над потолком колодца,
 a — высота сечения сифона перед носком,
 α — угол (β) наклона откидного носка к горизонту определять по уравнению траектории движения струи

$$y = x \operatorname{tg} \beta + \frac{g}{2v^2} (1 + \operatorname{tg}^2 \beta) x^2,$$

где: $v = \varphi' \sqrt{2g(z - y)}$,
 $\varphi' = 0,6 \div 0,8$ — коэффициент скорости,
 z — напор воды перед сифоном,

$$x = y \operatorname{ctg} \alpha + \frac{a}{\sin \alpha},$$

α — угол наклона трубы сифона к горизонту.

В. Ввиду отсутствия теоретического решения вопроса о необходимом количестве расхода воздуха в сифоне с удовлетворяющей практикой точностью и неизбежной неточности выполнения строи-

тельных работ в период строительства, рекомендуется площадь сечения воздухопровода ($\omega_{\text{воз. пров.}}$) и площадь отверстия воздухоприемника ($\omega_{\text{воз. приемн.}}$) назначать по имеющимся материалам натуральных испытаний, но с некоторым запасом с тем, чтобы во время пусконаладочных работ по сифону точно определить как площадь отверстия воздухоприемника, так и высотное положение его.

Величины $\omega_{\text{воз. пров.}}$ и $\omega_{\text{воз. приемн.}}$ рекомендуется назначать равными:

при подводе воздуха в верхнюю часть сифона

$\omega_{\text{воз. пров.}} = \omega_{\text{воз. приемн.}} = 4\%$ от площади наименьшего поперечного сечения сифона,

при подводе под откидной носок

$\omega_{\text{воз. пров.}} = \omega_{\text{воз. приемн.}} = 6\%$ от площади наименьшего поперечного сечения сифона.

При этом рекомендуется подвод воздуха в верхнюю часть сифона производить не по нескольким трубам с общей площадью, равной рекомендуемому значению, а по одной в целях уменьшения возможности засорения трубы. При подводе воздуха под откидной носок рекомендуется воздух подводить с обеих сторон носка, т. е. по двум трубам.

Ввиду того, что отверстие воздухоприемника в натуре будет меньше рекомендуемого значения, то оно и будет регулирующим элементом регулятора сифона, а не труба воздухопровода.

В целях достижения наименьшего подъема горизонта воды верхнего бьефа при включении сифона на $Q_{\text{мах.}}$, необходимо уменьшать высоту отверстия воздухоприемника ($h_{\text{от. воз.}}$) за счет увеличения ширины ($b_{\text{от. воз.}}$)

Однако при $h_{\text{от. воз.}}$ менее 5 см, регулятор расхода становится очень чувствительным даже к малым колебаниям горизонта воды, что влечет к некоторой пульсации расхода сифона. Поэтому рекомендуется $b_{\text{от. воз.}}$ определять делением вышеуказанной площади поперечного сечения воздухоприемника, выраженной в см^2 , на 5 см, т. е.

$$b_{\text{от. воз.}} = \frac{\omega_{\text{от. воз.}}}{h_{\text{от. воз.}}} = \frac{\omega_{\text{от. воз.}}}{5} \text{ см.}$$

Верхняя кромка отверстия воздухоприемника (вер. кр. воз.) должна быть установлена на отметке, определяемой по следующей формуле:

$$V_{\text{вер. кр. воз.}} = V_{\text{гр.}} + h_{\text{н. в. в.}} + h_{\text{реж.}}$$

где: $V_{\text{гр.}}$ — отметка гребня.

Г. Испытания и исследования сифонов Нижне-Бозсуйской ГЭС № 2, Шаариханской ГЭС № 6 и Ак-Кавакской ГЭС № 1 в натуре показали, что наименьшее возможное время включения сифонов оказалось примерно одинаковым и равным около 30—60 сек.

Наименьшее время включения сифона на максимальный расход определялось от момента закрытия всех воздушных труб (при достижении медленно поднимающимся горизонтом воды верхнего бьефа отметки, соответствующей началу выхода воздуха из сифона) до момента полного удаления из сифона воздуха.

Время включения сифона как на минимальный устойчивый расход, так и на максимальный зависит от типа сифона и регулятора расхода, установки этого регулятора, величины сбросного расхода и скорости подъема горизонта воды верхнего бьефа. Последняя зависит от величины сбросного расхода и величины площади свободной поверхности верхнего бьефа и изменения ее с изменением отметки. Поэтому, для определения времени включения сифона на тот или иной расход, необходимо построить график зависимости $t_{\text{нак.}} = f(h)$ — времени накапливания воды в верхнем бьефе от высоты накапливаемого слоя воды при различных расходах накапливания и график зависимости $Q_{\text{сиф.}} = f(h)$ — расхода сифона от высоты превышения горизонта верхнего бьефа над гребнем с учетом влияния волны подъема и установки воздухоприемника на тот или иной режим работы сифона.

Для предварительного расчета последнюю зависимость можно построить согласно принятым величинам: $h_{\text{н. в. в.}}$ и $h_{\text{мах.}}$, которым соответствуют $Q = Q_{\text{мах. прост. водосл.}}$ и $Q = Q_{\text{мах. сиф.}}$

Затем, по разнице между лишним расходом верхнего бьефа и расходом сифона необходимо определить изменение расхода накапливания и построить график $Q_{\text{нак.}} = f(h)$. По этому графику находят средние расходы накапливания для отдельных участков высоты подъема и по ним из графика $t_{\text{нак.}} = f(h)$ определяются отрезки времени, соответствующие тем же участкам высоты подъема, и, наконец, сумма их, т. е. время включения сифона на $Q_{\text{мах.}}$

Д. В зависимости от конструкции сифона максимальная величина вакуума может быть в следующих местах:

1. В пределах верхнего изгиба трубы:

а) в наивысшей части потолка сифона при наличии большой величины сечения трубы на гребне и большой величины радиуса гребня;

б) на вершине гребня или несколько ниже (в зависимости от величины угла изгиба) при небольшой высоте трубы посто-

янного сечения в пределах верхнего изгиба и небольшой величине радиуса гребня;

в) на гребне, в конце кривой изгиба трубы или близко к концу (в зависимости от величины сужения сечения на участке изгиба) при небольших величинах радиуса гребня и высоты сечения в конце изгиба сужающейся трубы.

2. За откидным носком,

3. В пределах нижнего изгиба трубы — в нижней части потолка ее при истечении сифона в атмосферу через колодез, расположенный в трубе, имеющей малую величину внутреннего радиуса нижнего изгиба, постоянное сечение трубы на участке изгиба и большие скорости на том же участке,

4. За диафрагмами.

Для определения максимальной величины вакуума в пределах верхнего изгиба сифона Миловичем А. Я., Нелидовым И. М., Вяземским О. В., Туманян В. И. и другими предложены формулы, которые составлены с учетом распределения скоростей по вертикали сечения по „закону площадей“.

Согласно работе Дементьева М. А., картина движения на повороте очень сложна (помимо перераспределения скоростей по радиусу, наблюдается поперечная циркуляция) и распределение скоростей и давлений зависит от шероховатости стенок трубы, условий „входа“ и „выхода“.

Кожевников М. П. также доказывает опытами сложность движения на повороте русла и зависимость его от формы сечения русла. При этом он считает, что при отсутствии учета поперечной циркуляции распределение продольной составляющей скорости на изгибе в ламинарном потоке нужно принять по „закону площадей“,

т. е. $v = \frac{c}{r}$, а в турбулентном потоке с квадратичным законом

$$\text{сопротивления — } v = \frac{c}{\sqrt{r}}.$$

Основываясь на последнем, автор настоящей работы считает, что более верно, чем ранее известные, приближенное определение максимальной величины вакуума даст формула, учитывающая изменение скорости обратно пропорционально \sqrt{r} .

Следовательно, полагается, что осредненные, по ширине трубы, продольные скорости распределяются на изгибе по высоте

сечения трубы обратно пропорционально \sqrt{r} , т. е. $v = \frac{c}{\sqrt{r}}$

Величина c определяется из выражения общего расхода потока

$$Q = \int_{r_1}^{r_2} v dr = c \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{\sqrt{r}} = 2bc (\sqrt{r_2} - \sqrt{r_1}),$$

откуда:

$$c = \frac{Q}{2b(\sqrt{r_2} - \sqrt{r_1})}$$

и, следовательно, $v = \frac{Q}{2b\sqrt{r}(\sqrt{r_2} - \sqrt{r_1})}$.

Величину давления P в любой точке рекомендуется определять из уравнения Бернулли

$$\nabla \text{В.Б.} + \frac{P_a}{\gamma} = \nabla \text{Р.Т.} + \frac{P}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} (1 + \Sigma \zeta \frac{v_0^2}{v^2}),$$

где: $\nabla \text{В.Б.}$ — отметка уровня воды верхнего бьефа,

$\nabla \text{Р.Т.}$ — отметка рассматриваемой точки,

P_a — минимальное атмосферное давление для данной местности,

P — давление в произвольной точке рассматриваемого сечения,

$\Sigma \zeta$ — сумма сопротивлений от входа до рассматриваемого сечения, отнесенная к наименьшему сечению трубы,

$\frac{v_0^2}{v^2}$ — поправка,

v_0 — средняя скорость в рассматриваемом сечении,

v — скорость в произвольной точке рассматриваемого сечения, определяемая по уравнению,

γ — удельный вес жидкости.

При сравнении подсчитанных величин вакуума по этим формулам с результатами полевых исследований сифонного водосброса Нижне-Бозсуйской ГЭС № 2 получено хорошее совпадение. При переменном сечении трубы в пределах верхнего и нижнего изгиба, максимальное значение вакуума определяется подбором по тем же формулам.

·V. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УСТРАНЕНИЮ КОНСТРУКТИВНЫХ НЕДОСТАТКОВ СИФОНОВ

В диссертации даны следующие основные рекомендации:

1. На основании результатов, полученных автором при исследованиях сифона с обратным наклоном трубы (фиг. 1) на модели и на нескольких сооружениях в натуре, построенных по результатам исследований автора, этот тип был рекомендован для строительства водосбросов как аварийного, так и рабочего назначения. Рекомендованный тип сифона хорошо вписывается в габариты сбросных сооружений, имеет высокий коэффициент расхода — $\mu = 0,80$ и эксплуатационные свойства, удовлетворяющие современным требованиям — сифон автоматически и устойчиво сбрасывает только лишние расходы воды, в большом диапазоне — от $Q_{\min} = 0,25 Q_{\max}$ до Q_{\max} . При максимальном колебании верхнего бьефа $h_{\max} = 15$ см с плавным включением, изменением сбрасываемых расходов воды и выключением сифона.

2. Последовательно развернутое представление о гидравлических явлениях, происходящих в таком автоматически действующем сифоне, составленное автором, позволило внести ряд конструктивных изменений в основные существующие типы сифонов, которые значительно улучшили их эксплуатационные свойства.

На фиг. 1, 2, 3, и 4 изображено несколько рекомендуемых сифонов с конструктивными изменениями автора. Составлением различных комбинаций из приведенных сифонов, имеющих различный наклон трубы, с различными их выходными частями, получен и приведен в диссертации еще ряд сифонов с подобными сифонными свойствами.

Изменения сводятся в основном к следующему:

- 1) Вход в сифонах устраивается по допустимой величине спада.
- 2) Верхний изгиб трубы устраивается большей частью с сужением.
- 3) Радиус гребня принимается с учетом гидравлически наилучшей его величины.

4) Откидной носок делается без подвода воздуха извне, но с боковыми нишами.

5) В сифонах с вертикальным и прямым наклоном трубы откидной носок располагается не по условию обеспечения минимальных потерь, а по обеспечению максимальных расходов удаляемого из сифона воздуха при недопущении прорыва его обратно в сифон со стороны нижнего бьефа, для чего носок устраивается ниже, чем обычно, и с большим углом наклона к вертикали (фиг. 5).

6) Колодец устраивается всегда, если сифон имеет истечение в атмосферу, при этом порог его делается на отметке нижней точки потолка (капора). При истечении под переменный уровень по-

рог колодца располагается не ниже 0,5 м наивысшего горизонта воды нижнего бьефа, который может быть до начала включения сифона.

При истечении под постоянный уровень воды колодец для включения сифона не делается, но наинизшая отметка потолка сифона располагается не более, чем на 0,5 м, но не менее 0,25 м под уровень воды (до включения сифона).

7) Регулятор расхода устраивается новой конструкции (фиг. 1, 6), разработанной и исследованной автором, обеспечивающей:

- а) малый местный спад перед воздухоприемником,
- б) постоянство отметок включения и выключения сифона,
- в) реализацию возможной плавности включения и выключения сифона.

Кроме того, в сифонах предусматривается устройство трубы с задвижкой для принудительного выключения; последнее необходимо главным образом при пусконаладочных работах, при которых производится и окончательный монтаж регулятора расхода.

Исследование модели сифона с вертикальным наклоном трубы (фиг. 3), проведенное автором, подтвердило правильность предположения о наличии в сифонах с вертикальным и прямым наклоном труб лучших эксплуатационных свойств, чем в сифонах с обратным наклоном трубы.

В настоящее время по результатам этих исследований заканчивается для одного из ирригационных водохранилищ составление технического проекта автоматического сифонного водосброса на 700 км. в сек. при $n = 7$ труб, $z = 23$ м., $h_{н.в.} \approx 6$ см, $h_{\max} \approx 25$ см и $Q_{\min. \text{уст. сиф.}} = 0,15 Q_{\max. \text{сиф.}}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сифонный водосброс, как надежная и экономная конструкция, обладающая свойствами автоматического действия, находит все более и более широкое применение в грандиозном строительстве, развернутом в нашей стране на основе решений партии и правительства.

В реферируемой диссертационной работе в развитие и усовершенствование теории расчета и конструирования сифонов:

1. Произведена систематизация работ, проведенных в СССР к 1953 году по исследованию сифонов на моделях и в натуре.
2. Приведено описание исследований сифонов, проведенных автором на 5 моделях и на 4-х сифонных водосбросах в натуре.

3. Приведено описание лабораторного проектирования 5 сифонных водосбросов.

4. Дан анализ гидравлических явлений, происходящих в сифоне и регуляторе расхода его при включении, сбросе воды и выключении.

5. Рекомендована методика проектирования и расчета сифонов с изменениями и дополнениями автора.

6. Рекомендованы типы сифонов (продольные профили), улучшенные автором.

7. Рекомендованы конструкции металлических частей сифона. Автор полагает, что причины, тормозившие ранее широкое применение сифонных водосбросов, теперь могут считаться в основном устраненными.

Более того, автор полагает, что на основе этой работы во многих случаях сифонные водосбросы при напорных бассейнах гидроэлектростанций можно надёжно проектировать без дополнительных специальных предварительных исследований их на новых моделях, что ускорит процесс проектирования и строительства.

Кроме того, автор считает, что его работа окажется полезной при разработке и осуществлении мероприятий по автоматизации водного хозяйства, в ирригации и гидроэнергетике, в некоторых конструкциях водозаборных узлов, при конструировании сифонных водовыпусков на оросительных системах и в сифонах-эжекторах, увеличивающих эффективность низконапорных ГЭС и др.

Однако, автор отдаёт себе отчет в необходимости дальнейших специальных исследований, углубления теории и разработки еще более совершенных конструкций, приспособленных для разнообразных вышеперечисленных целей, а потому обращает внимание на вопросы, подлежащие разработке в последующих исследованиях и, в частности, на ряд первоочередных вопросов, как-то:

а) уточнения угла встречи падающей с откидного носка струи с водяной „подушкой“, т. е. уточнения местоположения откидного носка в сифонах с прямым и вертикальным наклоном трубы,

б) определения высоты $h_{н.в.в.}$ в различных типах сифонов на модели и в натуре,

в) определения зависимости расхода воды сифона от расхода воздуха, поступающего в сифон через воздухоприемник в различных типах сифонов на модели и в натуре,

г) изыскания мер, обеспечивающих надежную эксплуатацию сифонов в зимнее время,

д) выяснения физики явлений, происходящих на изгибе трубы сифона при постоянном и сужающемся сечениях трубы квадрат-

ной и прямоугольной формы в различных типах сифона, и определения закона распределения скоростей и давлений в местах максимального вакуума с количественной оценкой их,

е) изучения вопроса аэрации водяной струи,

ж) определения зависимости величины спада перед воздухоприемником от изменения градиента давления и скорости воды и воздуха, поступающих в сифон через воздухоприемник,

з) определения величины коэффициента сопротивления диафрагм и величины разрежения за ними в прямоугольных трубах

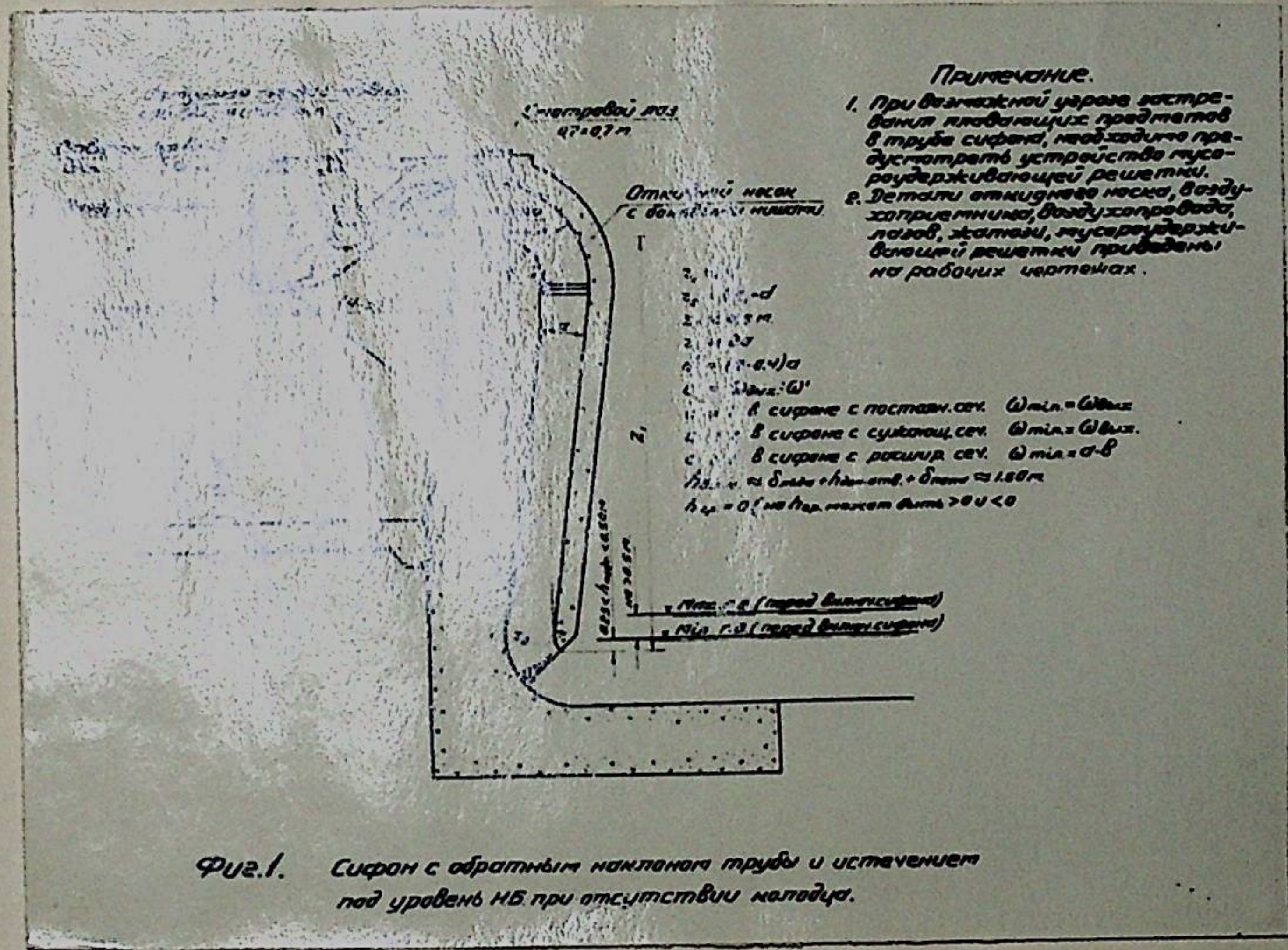
с большим отношением сторон $\left(\frac{b}{a} \text{ от } 2 \text{ до } 5\right)$,

и) уточнения методики моделирования отдельных явлений в сифоне и др.

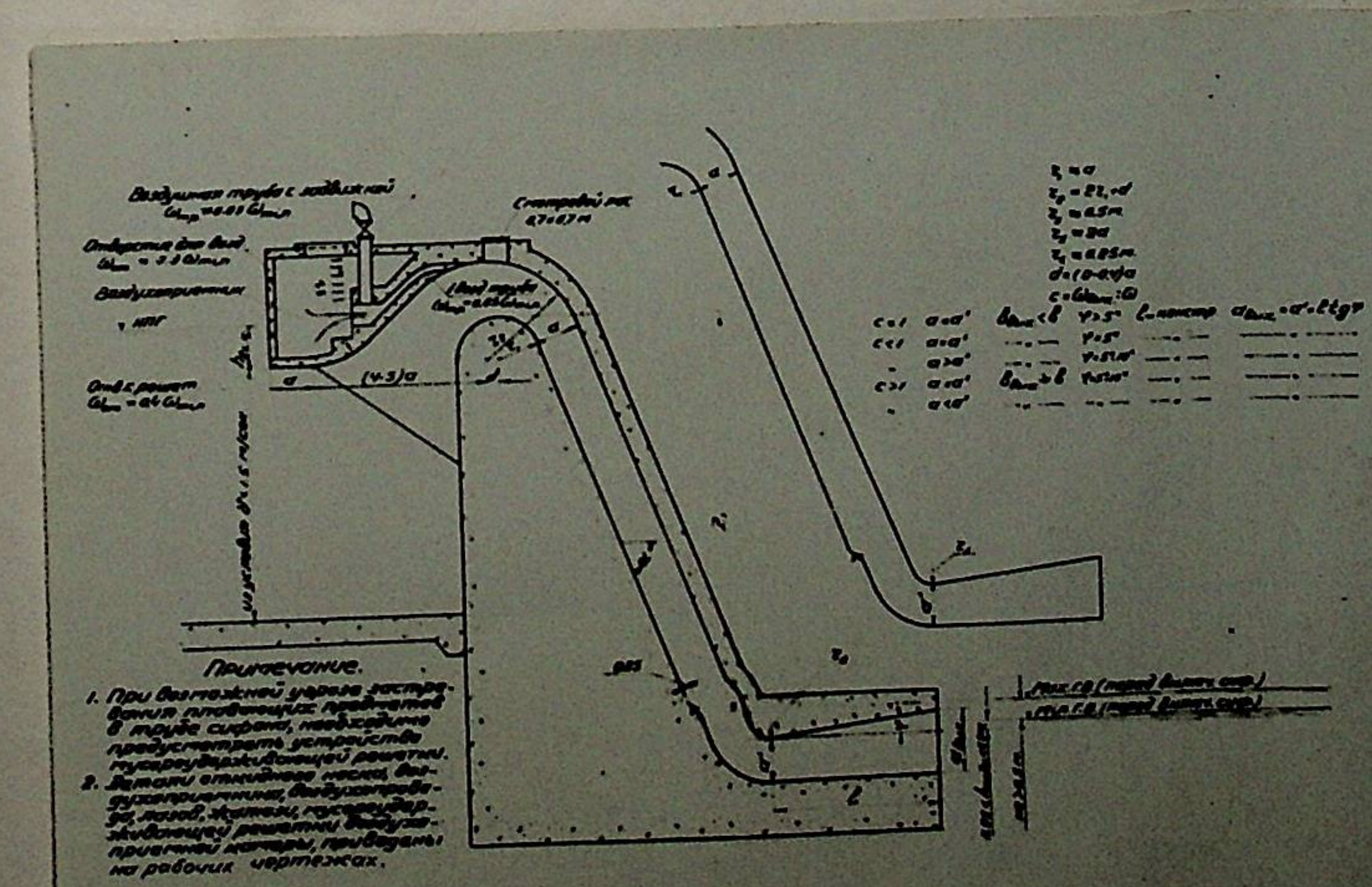
Особо автор считает своей обязанностью отметить, что успеху его научно-исследовательской работы способствовало тесное содружество с проектировщиками, строителями и эксплуатационниками, возможное только в условиях нашей Великой Социалистической Родины, при повседневном и мудром руководстве Коммунистической партии Советского Союза.

72467.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
А. Н. Киргизской ССР



Фиг. 1. Сифон с обратным наклоном трубы и истечением под уровень НВ при отсутствии меловца.



Фиг. 2. Сифон с прямым наклоном трубы и истечением под уровень НВ при отсутствии меловца.

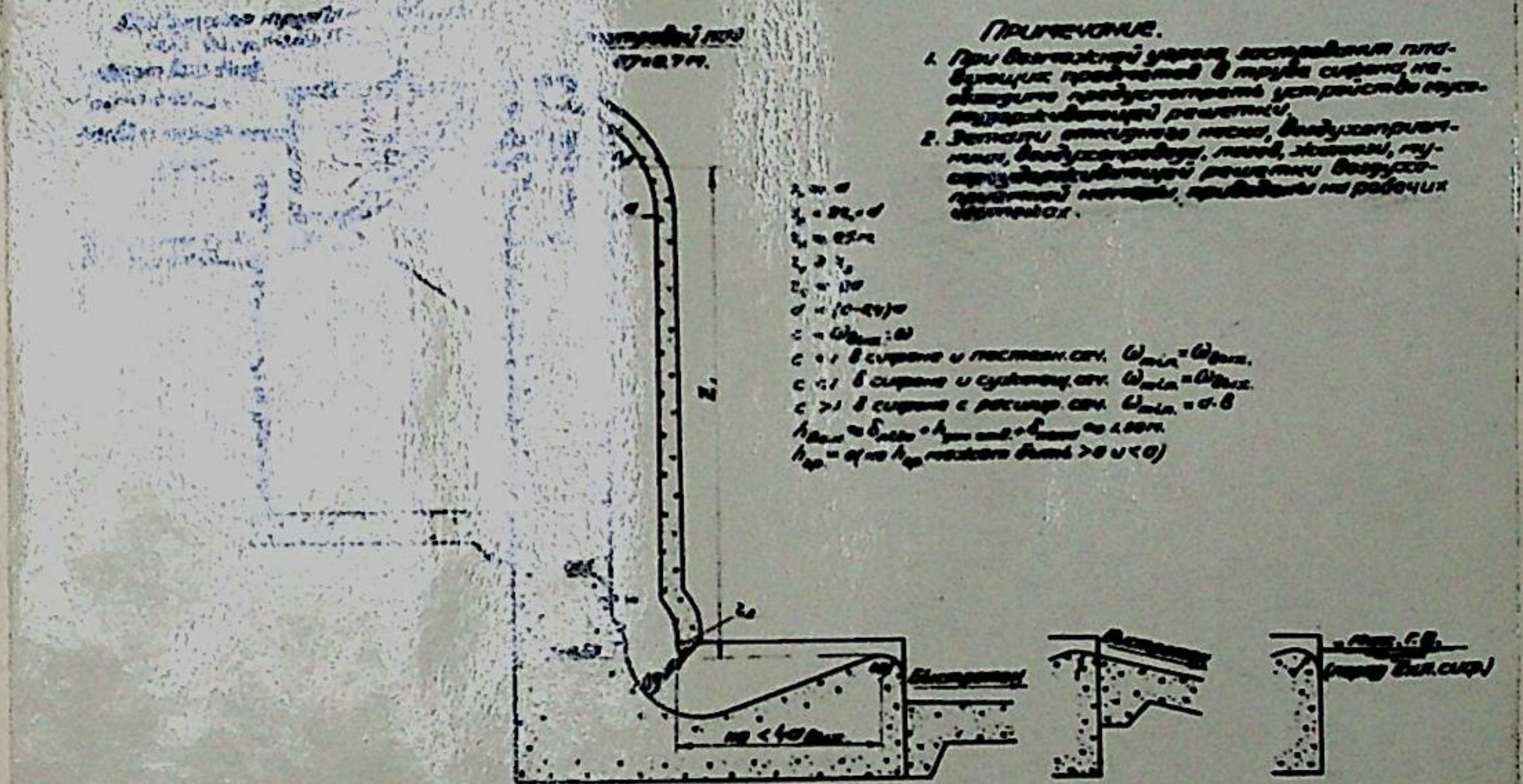


Рис. 3. Сирин с вертикальной наклонной трубой и напором.

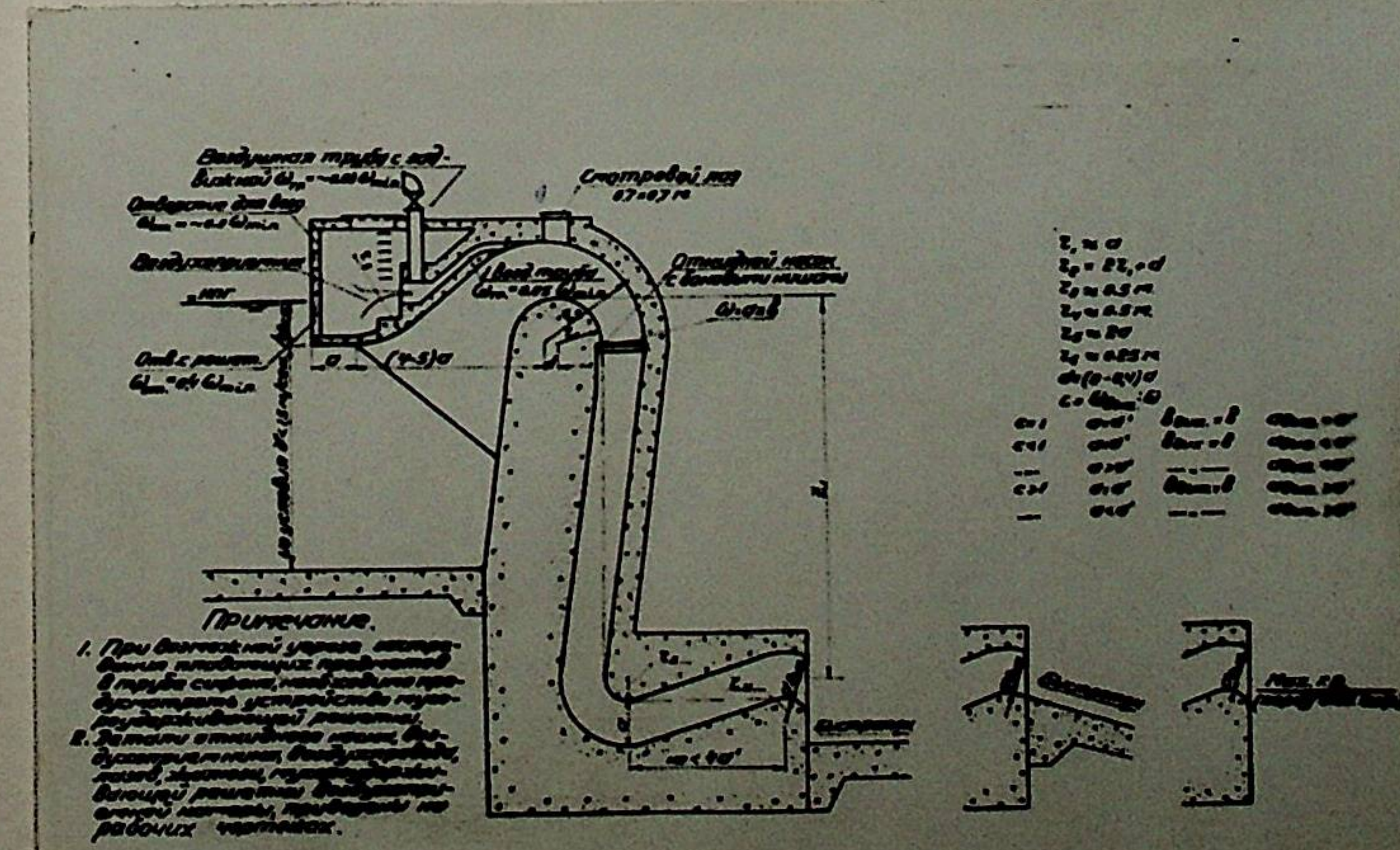


Рис. 4. Сирин с обратной наклонной трубой и напором в нижней части ее.

