

На правах рукописи

ХАЕК БУШРА

**НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ВОДОВЫПУСКНОГО  
СООРУЖЕНИЯ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ТИПА МЕЛИОРАТИВНЫХ  
НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ**

2.1.6. Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2023 г.

Работа выполнена на кафедре гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

**Научный руководитель:** **Ханов Нартмир Владимирович,**  
доктор технических наук, профессор, профессор РАН,  
заведующий кафедрой гидротехнических сооружений  
ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева

**Официальные оппоненты:** **Тарасьянц Сергей Андреевич,**  
доктор технических наук, профессор, профессор  
кафедры водоснабжения и использования водных  
ресурсов Новочеркасского инженерно-мелиоративного  
института имени А.К. Кортунова – филиала ФГБОУ  
ВО «Донской государственный аграрный  
университет»

**Брянская Юлия Вадимовна,**  
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры  
гидравлики и гидротехнического строительства  
ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский  
Московский государственный строительный  
университет»

**Ведущая организация:** **ФГБНУ «Российский научно-исследовательский  
институт проблем мелиорации»**

Защита состоится 26 декабря 2023 г. в 15:00 на заседании диссертационного совета 35.2.030.07, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, учебный корпус №28, аудитория 201, тел: 8 (499) 976-17-14.

Юридический адрес для отправки почтовой корреспонденции (отзывов): 127434, г. Москва, ул. Тимирязевская, д. 49.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета <http://www.timacad.ru>.

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета 35.2.030.07  
кандидат технических наук, доцент

Н.Б. Мартынова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Насосные станции мелиоративных систем являются наиболее крупными гидротехническими сооружениями, с напорами до ста метров, и выше, расходом до  $50 \text{ м}^3/\text{с}$ , при этом объёмы перекачиваемой воды могут достигать десятки миллионов кубических метров в год.

Для орошения сельскохозяйственных земель, например в Сирийской Арабской Республике (САР), в настоящее время используется более 240 насосных станций с напорами 20-120 м и расходами  $0,5-9,0 \text{ м}^3/\text{с}$ . Объем подачи воды при этом достигает 200 млн.  $\text{м}^3$  в год, с необходимым значительным объемом энергозатрат при высокой стоимости электроэнергии. В связи с вышеизложенным, при проектировании мелиоративных насосных станций, особое внимание уделяется вопросу снижения потребления электроэнергии при подборе схем водоподачи, обеспечивающей уменьшение гидравлических потерь на конструктивных элементах. Одними из наиболее значимых величин гидравлических потерь, влияющих на потребление электроэнергии, являются водовыпускные сооружения. При подаче воды в открытые водовыпускные сооружения и мелиоративные каналы, в случае внезапного прекращения электроснабжения, в напорном трубопроводе может наблюдаться обратный возвратный поток. В случае продолжительной эксплуатации в подобном режиме возникает опасность вывода из строя гидромеханического оборудования. Для возможности предотвращения подобных явлений необходимо отключение напорного трубопровода от верхнего бьефа приемного бассейна. При проектировании насосных станций задача решается с применением соответствующих конструктивных элементов водовыпускных сооружений, сопрягающих напорные водоводы с каналами и их снабжение энергоэффективными устройствами.

**Степень разработанности темы.** В диссертационной работе представлены существующие схемы водовыпускных сооружений, технические условия проектирования, которые опираются на работы Рычагова В.В., Флоринского М.М. Чебаевского В.Ф., Вишневого К.П., Накладова Н.Н., Беглярова Д.С., Али М.С.

В системах напорных водоводов используется конструкция сифонного водовыпуска [А.С. СССР №1013554 от 1976], позволяющая повысить эффективность зарядки путем улучшения условий отвода воздуха.

Для необходимости повышения надёжности работы водовыпускного сооружения в ФРГ разработана конструкция с резервуаром и вспомогательным сифоном, горловина которого при помощи вакуумной струи с электромеханическим клапаном сообщена с трубопроводом

горловины сифона, а резервуар сообщен с вертикальной трубой наклонным лотком [патент ФРГ № 479847 от 25.11.1975 г.].

Кроме того, для повышения надёжности эксплуатации водовыпусков используется конструкция камерного водовыпуска с замкнутой переливной стенкой [патент ФРГ №1617084 от 29.12.1983г.].

Основным недостатком вышеуказанных конструкций является увеличенный расход энергозатрат при колебаниях уровней воды в отводящем канале.

Поскольку описания работы подобной конструкции водовыпускного сооружения телескопического типа не обнаружено в доступной литературе, необходимо изучить физику явлений, происходящих при поступлении воды из напорного водовода в телескопический водовыпуск.

**Цель и задачи исследования.** Теоретическое и экспериментальное обоснование параметров водовыпускного сооружения телескопического типа мелиоративной насосной станции.

Для достижения вышеуказанной цели поставлены следующие задачи:

1. Изучить современные конструкции водовыпускных сооружений мелиоративных насосных станций.
2. Теоретически обосновать способы расчёта переливного водовыпускного сооружения телескопического типа с переменным положением гребня переливной стенки.
3. Разработать методы исследования и моделирования водовыпуска телескопического типа мелиоративной насосной станции.
4. Провести анализ результатов исследований и разработать практические рекомендации для расчёта водовыпуска телескопического типа.

**Научная новизна работы.** Научная новизна работы заключается в предложенной методике расчёта переливного водовыпускного сооружения телескопического типа с переменным положением гребня переливной стенки, теоретическом обосновании возможности использования предлагаемой конструкции водовыпуска; в гидравлических исследованиях на построенной физической модели конструкции водовыпуска телескопического типа насосной станции; в новых результатах экспериментальных исследований водовыпускного сооружения телескопического типа; в лабораторных исследованиях водовыпускного сооружения с восходящей вертикальной затопленной струей в ограниченном пространстве, в рекомендациях для расчета подобных водовыпусков.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** В работе представлены рекомендации, объединяющие в себе результаты проведённых автором лабораторных

гидравлических и теоретических исследований. Разработанные рекомендации могут быть учтены при проектировании водовыпускных сооружений телескопического типа мелиоративных насосных станций.

Практическая значимость работы заключается в разработке экономически обоснованной конструкции переливного водовыпускного сооружения телескопического типа, обладающего простотой конструкции и надёжностью в эксплуатации при минимальных гидравлических потерях.

**Методология и методы научного исследования.** Теоретические расчёты и модельные гидравлические исследования.

**Положения, выносимые на защиту:**

- теоретическое обоснование использования предлагаемой конструкции водовыпускного сооружения телескопического типа;
- теоретическое обоснование элементов кинематической структуры потока напорного трубопровода насосной станции в камере телескопического водовыпуска;
- результаты экспериментальных исследований водовыпускного сооружения с восходящей вертикальной затопленной струёй в ограниченном пространстве, их анализ;
- рекомендации по проектированию водовыпуска телескопического типа насосной станции.

**Степень достоверности и апробация результатов работы.** Достоверность результатов работы обусловлена: применением известных, апробированных расчетных методик; достаточной полнотой выполненных экспериментальных исследований; взаимным сопоставлением расчетных и экспериментальных данных.

Основные положения и результаты работы были доложены на конференциях: международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию В.А. Михельсона (Москва, 9-11 июня 2020); IV-ый Всероссийский научно-практический семинар (НИУ МГСУ, 26 мая 2021 г.); Всероссийская с международным участием научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова (Москва 7-9 июня 2021 г).

**Публикации.** По результатам диссертационных исследований опубликовано 5 печатных работ, в том числе 2 статьи в изданиях, входящих в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук», 3 статьи (тезисов докладов) в других печатных изданиях.

**Структура и объем работы.** Диссертация изложена на 132 страницах, состоит из введения, основной части, содержащей 51 рисунков, 6 таблиц, заключения, списка литературы (включает 94 наименований, в том числе 6 – на иностранном языке), и условных обозначений.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы исследований, дана оценка степени её разработанности, определены цели и задачи исследований, отмечены научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы, изложена методология исследований, сформулированы положения, выносимые на защиту, а также степень достоверности и апробация результатов.

**В первой главе** анализируются условия эксплуатации конструкций водовыпускных сооружений.

Водовыпускное сооружение является неотъемлемым элементом системы водоподачи мелиоративной насосной станции. Главные функции, которые возлагаются на водовыпускное сооружение следующие:

- обеспечить безопасные скорости выпуска воды в отводящий канал, не допускающие размыв грунта;
- обеспечить минимальные гидравлические потери, снижающие потребление энергии насосным агрегатом;
- обеспечить надёжное прекращение возвратного тока воды в трубопроводе насосной станции при аварийных остановках насосного агрегата;
- иметь минимальную строительную стоимость;
- иметь максимальную простоту и надёжность в эксплуатации.

В главе представлена схема и описание классификации водовыпускного сооружения, условия применения и технические условия проектирования, конструктивные недостатки проанализированных водовыпускных сооружений.

Водовыпускные сооружения с запорными устройствами механического действия универсальны. Их можно применять при любой амплитуде колебаний уровней воды в водоприемнике, а при соответствующем типе запорного устройства и при любой подаче насосной станции. На один напорный трубопровод может работать любое число насосов. Концевая часть напорных трубопроводов прямолинейна. Запорные устройства предотвращают обратный ток воды из водоприемника по напорным трубопроводам при отключении насосных агрегатов или разрыве напорного трубопровода.

**Во второй главе** излагаются предложения по совершенствованию конструкции водовыпускного устройства, теоретические расчёты параметров восходящей струи при незатопленном и затопленном режимах.

Для снижения гидравлических потерь энергии и снижения строительной стоимости водовыпускного сооружения разработана новая конструкция водовыпуска телескопического типа, показанная на рисунке 1 с поплавком круглоцилиндрического поперечного сечения. На рисунке 1- а показан продольный разрез положения поплавка при максимальном уровне воды в водоприёмном бассейне; на рисунке 1- б показан продольный разрез поплавка при изливе максимального расхода; на рисунке 1- в примерная кривая расходов отводящего канала  $Q=f(h)$ ; на рисунке 1- г при полностью опорожнённом водоприёмном канале и напорном водоводе; на рисунке 1-д план телескопического водовыпуска.

Телескопический водовыпуск расположен в водоприёмном бассейне 1 в голове магистрального канала гидромелиоративной системы, имеющего максимальный макс. УНБ и минимальный мин. УНБ уровень воды, определяемые графиком орошения сельскохозяйственных культур (по системе Костякова А.Н.). Водовыпуск установлен на бетонной плите 2, в которой жёстко закреплён концевой участок напорного трубопровода 3 насосной станции, выходящий вертикально вверх. Водовыпуск состоит из двух коробчатых конструкций, соединённых с возможностью телескопического перемещения относительно друг друга. Внутренний короб 4 жёстко прикреплен к бетонному основанию 2, а второй короб 5 установлен с возможностью перемещения по вертикали вдоль первого короба 4. К верхнему ребру подвижного короба 5 по периметру жёстко прикреплены отрезки труб, герметично соединённых между собой, образующие поплавок 6, с гребнем. Для предупреждения поперечного перемещения подвижного короба 5 относительно нижнего короба 4 вследствие колебания поверхности воды в водоприёмном бассейне и канале, к звеньям поплавка 6 в узлах их стыковки установлены кольца 7, через которые проходят фиксирующие стержни 8, жёстко закреплённые в бетонном основании 2 и установленные вертикально. Для компенсации неточности вертикальной установки направляющих стержней 8, кольца 7 выполнены эллиптической формы. Для обеспечения минимального геодезического подъёма воды в период наполнения канала, глубина водоприёмного бассейна 1 назначается такой, чтобы при полностью опорожнённом канале гребень поплавка 6 находился не выше дна 9 водоприёмного канала, на уровне которого устанавливается уровень воды в водоприёмном бассейне 1 при полностью опорожнённом канале и телескопическом водовыпуске. При такой конструкции водовыпускного сооружения верхнее сечение подвижного короба представляет собой в плане замкнутый прямоугольный водослив с круглоцилиндрическим оголовком, положение которого будет одним и тем же относительно уровня воды в канале независимо от его расхода.

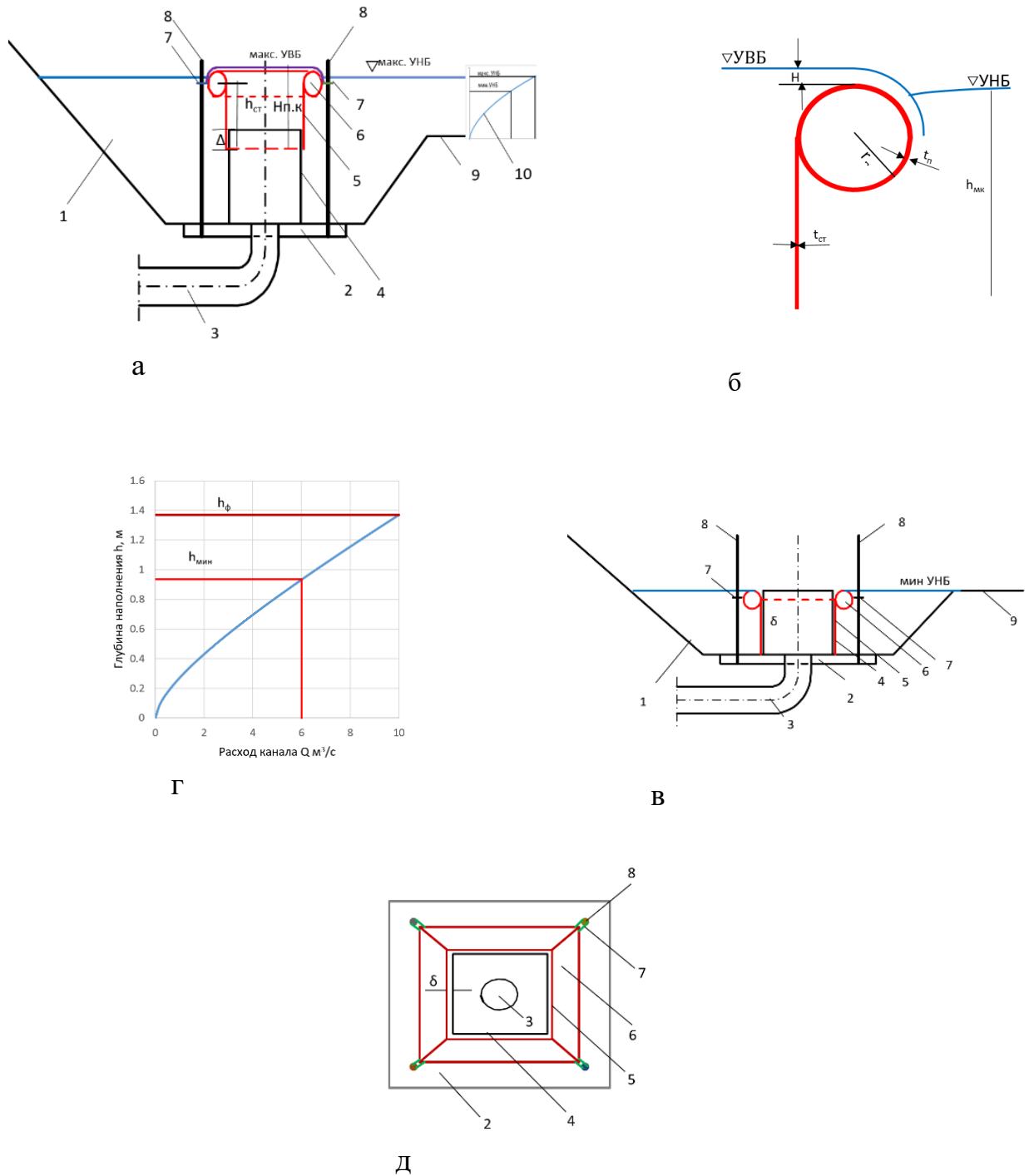


Рисунок 1 – Конструкция водовыпуска телескопического типа с поплавком круглопоперечного сечения: а – продольный разрез при максимальном уровне воды в водоприёмном бассейне; б – схема излива воды при максимальном расходе трубопровода; в – примерная кривая расходов отводящего канала  $Q=f(h)$ ; г – продольный разрез при полностью опорожнённом водоприёмном канале и напорном водоводе; д – план телескопического водовыпуска; 1 – водоприемник бассейна; 2 – бетонная плита; 3 –напорный трубопровод; 4 – внутренний короб; 5 –подвижный короб; 6 –поплавок; 7 – кольца; 8 –направляющие стержни; 9 – дно водоприемного канала; 10 – примерная кривая расходов отводящего канала  $Q=f(h)$

Это связано с тем, что при подъёме уровня воды в канале, поплавок будет перемещать



вверх верхний короб следуя за перемещением уровня воды в канале, а при опускании уровня воды в канале подъёмная сила поплавка будет уменьшаться и под действием собственного веса верхний короб будет опускаться до тех пор, пока поплавков не восстановит плавучесть короба.

Гидравлическая схема работы рассматриваемого варианта водовыпускного устройства мелиоративной насосной станции телескопического типа представляет собой вертикальную восходящую струю, аналогичную струе фонтана с вертикальной струёй, но работающей в режиме затопленного истечения. В соответствии с такой гидравлической схемой, параметры струи на выходе из напорного трубопровода насосной станции могут быть рассчитаны как параметры струи с соответствующими начальными характеристиками, определяемыми этими параметрами.

Однако отличие работы рассматриваемой конструкции водовыпускного устройства насосной станции от работы фонтана состоит в том, что струя напорного трубопровода представляет собой «затопленную струю» с вертикально восходящим потоком. Схему работы такой струи в доступной литературе обнаружить не удалось, в связи с чем представляется необходимым в комплексе изучить эти вопросы и определить зону работы струи напорного трубопровода для конструирования и расчёта оптимальных параметров водовыпускного устройства.

В этой работе приводятся расчётные зависимости некоторых авторов по определению высоты подъёма струи фонтана, основанные на экспериментальных данных (рис. 2).

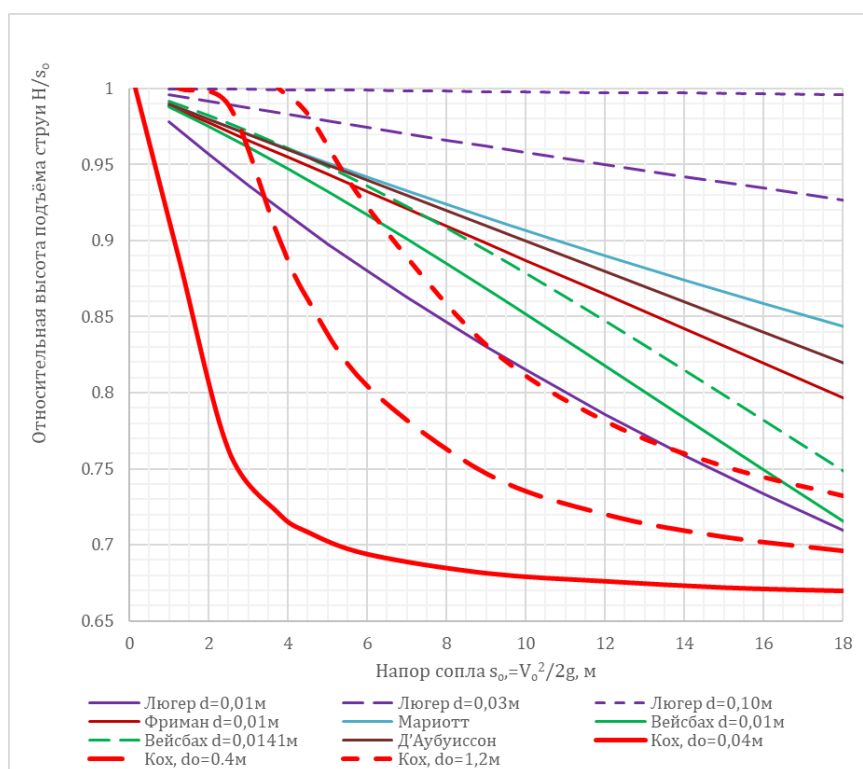


Рисунок 2 — Относительная высота подъёма  $H/s_0 = f(S_0)$  струи, подсчитанная по формулам различных авторов

По данным Коха, в зависимости от соотношения радиуса сопла струи  $r_0$  и скоростного напора  $s_0 = \frac{v_0^2}{2g}$ , возможны три формы шапки струи, схематичное очертание которых приведено на рисунке 3.

Как видно из рисунка 3, когда вода выходит с малой скоростью из сопла при соотношении  $s_0 \leq r_0$  непосредственно над его выходным сечением образуется грибовидная шапка. А когда напор воды увеличивается при соотношении  $s_0 > r_0$ , образуется ствол струи и грибообразная шапка. При очень больших напорах и при высоте ствола струи, многократно превосходящих радиус сопла при соотношении  $s_0 \gg r_0$ , формирование струи происходит с захватом струёй воздуха и распадом сплошности поверхности ствола струи, в результате чего шапка струи напоминает сноп. Однако, каких-либо конкретных границ формообразования шапки струи Кох не показал.

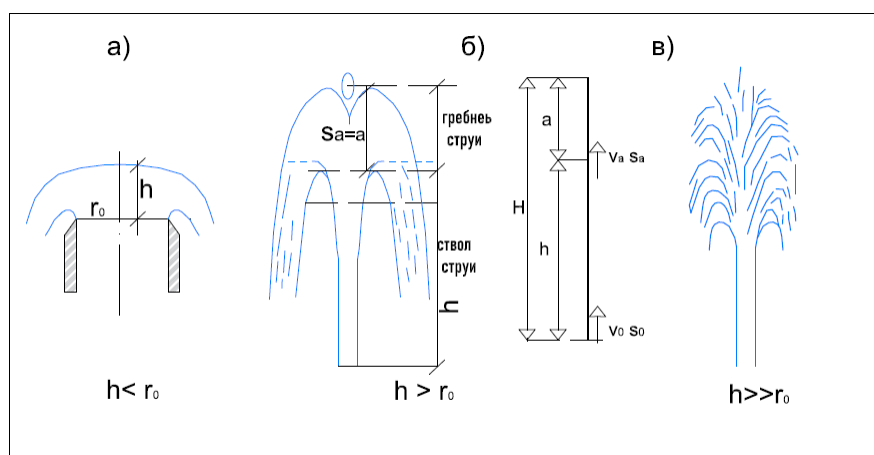


Рисунок 3 – Формы струи в зависимости от величины начального напора по данным Коха

В зависимости от стоимости материала труб, производства работ и стоимости электроэнергии, экономически наиболее выгодная скорость воды в напорном трубопроводе не превышает 3 м/с, чему соответствует скоростной напор  $s_0 = 0,46$  м. При диаметре напорных труб  $d_0 = 0,2 \dots 2,0$  м, отношение  $s_0/r_0$  будет находиться в пределах  $4,6 \dots 0,46$ , чему соответствуют схемы «а» и «б» формирования шапки вертикально восходящей струи.

С целью разработки конструкции водовыпускного сооружения телескопического типа с круглоцилиндрическим поплавком, задача гидравлических расчётов телескопического водовыпуска заключалась в определении его геометрических параметров, требуемого диаметра поплавка и рассмотрении гидравлических режимов его работы.

Гидростатические расчёты подвижного короба заключались в определении диаметра поплавка, обеспечивающего равновесие его подъёмной силы и сил, действующих вниз.

Таким образом, при работе телескопического водовыпуска возможны 3 гидравлических режима:

1-й режим – перелив отсутствует, коробки опорожнены;

2-й режим – перелив отсутствует, коробки заполнены водой до гребня поплавка;

3-й режим – происходит перелив воды из подвижного короба через гребень поплавка.

В соответствии с изложенной методикой расчёта параметров подвижного короба водовыпускного сооружения были назначены параметры элементов подвижного короба с круглоцилиндрическим поплавком:

- ширина стороны короба по внешнему обводу  $B=2D=2 \cdot 1,2=2,4$  м;

- толщина стенок подвижного короба  $t_{ст}=0,006$  м;

- высота стенок подвижного короба  $H_k=1,2$  м;

- плотность материала стенок  $\gamma_{ст}=1,4$  т/м<sup>3</sup>;

-  $G_k$  – вес стенок подвижного короба;

— толщина стенок поплавка  $t_{п}=0,006$  м;

- плотность материала поплавка  $\gamma_{поп}=1,4$  т/м<sup>3</sup>.

В рамках этой главы описываются параметры элементов подвижного короба с круглоцилиндрическим поплавком при отсутствии воды в опорожнённом водовыпуске.

Для вычисления диаметра круглоцилиндрических поплавков при трех режимах были получены следующие уравнения.

$$d_{поп} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(2,4 - 0,006) \cdot 0,006 \cdot 1,2 \cdot 1,4 + 3,14 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} \cdot 0,006 \cdot 1,4 + 0,0005}{3,355 \cdot (2,4 + d_{поп})}}$$

$$= 2 \cdot \sqrt{\frac{0,0241 + 0,0264 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} + 0,0005}{3,355 \cdot (2,4 + d_{поп})}}. \quad (1)$$

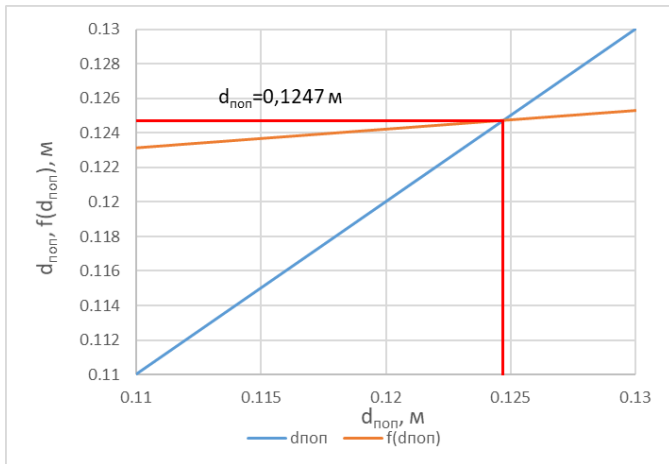
$$d_{поп} = 2 \cdot \sqrt{\frac{(2,4 - 0,006) \cdot 0,006 \cdot 1,2 \cdot 0,4 + 3,14 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} \cdot 0,006 \cdot 1,4 + 0,0005}{3,14 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot \rho}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,0241 + 0,0452 \cdot (2,4 + d_{поп}) \cdot d_{поп} + 0,0005}{3,14 \cdot (2,4 + d_{поп})}}. \quad (2)$$

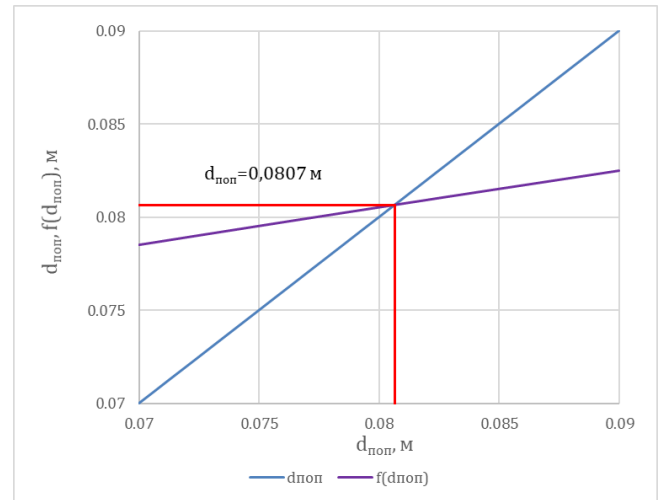
$$d_{поп} = 2 \cdot \sqrt{\frac{0,0965 + 0,181 \cdot (B + d_{поп}) \cdot d_{поп} + 0,817 \cdot d_{поп} \cdot (B + d_{поп}) \cdot H + 0,0005}{3,14 \cdot (B + d_{поп})}}. \quad (3)$$

Графоаналитическое решение уравнений приведено на рисунке 4.

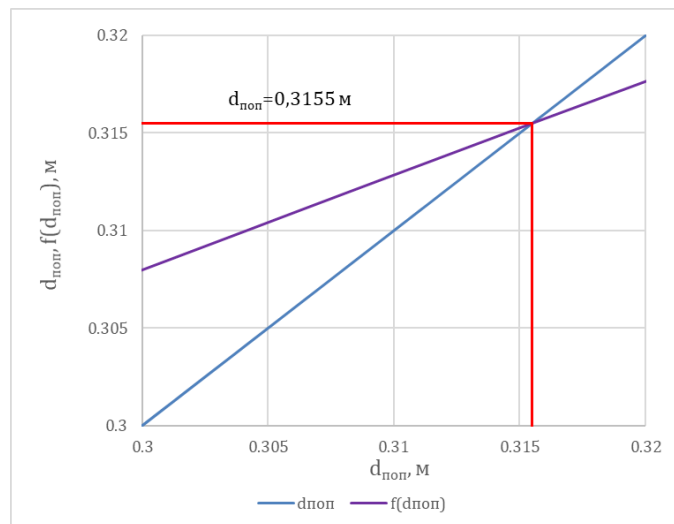
Таким образом, для трёх рассмотренных гидравлических вариантов работы подвижного короба с круглоцилиндрическим поплавком, для рассмотренного параметра трубопровода насосной станции, получены следующие расчётные диаметры поплавка:  $d_{\text{поп}}=125$  мм,  $d_{\text{поп}}=81$  мм и  $d_{\text{поп}}=316$  мм. Как видно из приведенных расчётов, определяющим диаметр поплавка является режим с переливом через него воды при подаче максимального расхода трубопровода.



а



б



в

Рисунок 4 – Результаты графоаналитического решения уравнения (1, 2, 3):

а – графоаналитическое решение уравнения (1) для расчёта диаметра поплавка при опорожнённом водовыпуске, б – графоаналитическое решение уравнения (2) для расчёта диаметра поплавка при его заполнении водой и отсутствии перелива, в – графоаналитическое решение уравнения (3) для расчёта диаметра поплавка при изливе из него воды через круглоцилиндрический поплавок

Учитывая необходимость использования труб большего диаметра по сравнению с расчётной величиной, более универсальным представляется применение поплавков с квадратным поперечным сечением, которые можно будет при меньших трудозатратах изготовить в условиях механических мастерских строительных организаций, конструктивное выполнение подвижного короба с поплавком квадратного сечения предполагает наличие трёх вариантов исполнения:

1. Подвижный короб с изолированными от поплавка стенками зазором  $\Delta$ , как это показано на схеме рисунка 5, а.
2. Подвижный короб с плотным прилеганием стенок короба и поплавка, как это показано на схеме рисунка 5, б.
3. Подвижный короб со стенками, являющимися продолжением внутренних стенок поплавка, как это показано на схеме рисунка 5, в.

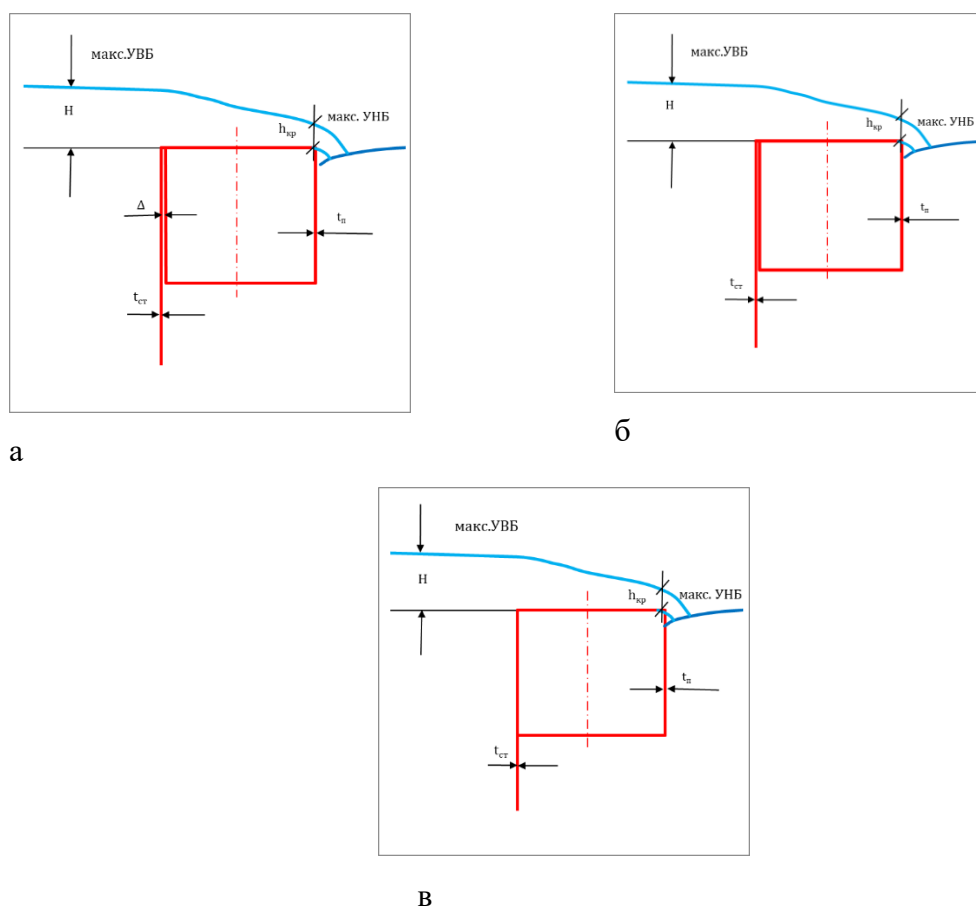


Рисунок 5 – Подвижный короб с изолированными от поплавка стенками:

а – подвижный короб с плотным прилеганием стенок короба и поплавка; б – подвижный короб со стенками, являющимися продолжением внутренних стенок поплавка; в – подвижный короб со стенками, являющимися продолжением внутренних стенок поплавка

В данной работе требуемые расчётные размеры поплавка с квадратным поперечным сечением для трёх приведенных выше конструктивных схем соединения подвижного короба и

поплавка с квадратным поперечным сечением определялись для гидравлического режима с переливом воды через оголовки.

За предельное равновесие подвижного короба принималось условие его плавания при переливе расчётного расхода через гребень поплавка, при котором верхняя грань поплавка будет находиться на уровне воды в магистральном канале. Условие равновесия подвижного короба в этом случае имеет вид:

$$\Sigma G_B = G_K + G_{\Pi} + G_{\text{вод}} + G_{\text{пет}} = \rho \cdot W_{\Pi}, \quad (4)$$

где:  $\Sigma G_B$  – сумма вертикальных сил, пригружающих поплавок, а именно:  $G_K$  – вес стенок подвижного короба;  $G_{\Pi}$  – вес поплавка;  $G_{\text{вод}}$  – вес воды на гребне поплавка;  $W$  – объём вытесняемый поплавком воды;  $\rho$  – удельный вес воды;  $G_{\text{пет}}$  – вес петель, стабилизирующих положение подвижного короба.

На основании проведённого анализа и полученных результатов расчета удалось обосновать размер поплавка с квадратным поперечным сечением при переливе из него воды через оголовки для трёх конструктивных вариантов исполнения.

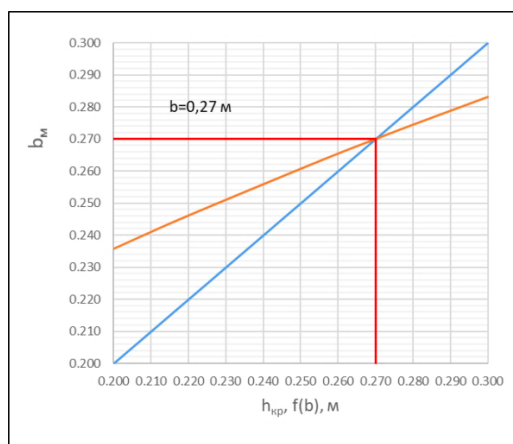
С целью получения необходимых размеров поплавка, составили уравнения:

$$b = \sqrt{\frac{0,4 \cdot (B_K - t_{CT}) \cdot H_K \cdot t_{CT} + 5,6 \cdot (B_K + b) \cdot (b - t_{\Pi}) \cdot t_{\Pi} + 0,21 \cdot Q^{\frac{2}{3}} \cdot b \cdot (B_K + b)^{\frac{1}{3}} + 0,0005}{(B_K + b)}} \quad (5)$$

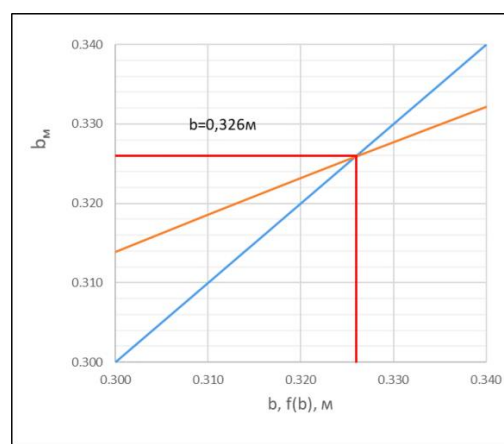
$$b = \sqrt{\frac{[b + 0,583 \cdot (2,4 - b)] \cdot (B_K - t_{CT}) \cdot 0,0144 + 0,0594 \cdot (B_K + b) \cdot (b - t_{\Pi}) + 0,21 \cdot Q^{\frac{2}{3}} \cdot b \cdot (B_K + b)^{\frac{1}{3}} + 0,0005}{(2,4 + b)}} \quad (6)$$

$$b = \sqrt{\frac{(\rho_K - 1) \cdot (B_K - t_{CT}) \cdot (H_K - b) \cdot t_{CT} + \rho_{\Pi} \cdot 3 \cdot (B_K + b) \cdot (b - t_{\Pi}) \cdot t_{\Pi} + \rho \cdot 0,21 \cdot Q^{\frac{2}{3}} \cdot b \cdot (B_K + b)^{\frac{1}{3}} + 0,0005}{\rho \cdot (B_K + b)}} \quad (7)$$

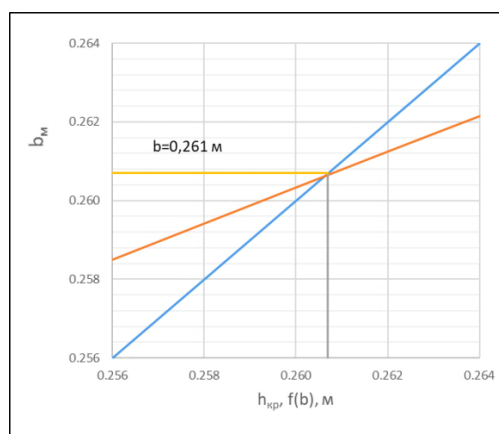
Графоаналитическое решение уравнений приведено на рисунке 6. Таким образом, получено, что для рассмотренных трёх вариантов исполнения поплавка с квадратным поперечным сечением, наибольшие габариты поплавка по внешнему обмеру получаются при плотном примыкании внутренних стенок поплавка к стенкам подвижной камеры  $b_{\Pi}=326$  мм, а минимальные размеры поплавка  $b_{\Pi}=261$  мм в варианте, когда верхняя часть стенок подвижной камеры одновременно являются внутренними стенками поплавка.



а



б



в

Рисунок 6 – Результаты графоаналитического решения уравнения (1, 2, 3):

а – графоаналитическое решение уравнения (5), расчёты плавания короба при переливе из него воды через оголовок со свободным омытием стенок; б – графоаналитическое решение уравнения (6), расчёты плавания короба при переливе из него воды через оголовок с плотным прилеганием стенок короба и поплавка; в – графоаналитическое решение уравнения (7), расчёты плавания короба со стенками, являющимися продолжением внутренних стенок поплавка

**В третьей главе** приводятся рекомендации по проектированию телескопического водовыпуска на основании результатов выполненных исследований и дается описание методологической базы моделирования и обработки результатов экспериментальных исследований.

В качестве примера были выполнены расчёты параметров модели поплавка для двух вариантов конструкции:

- конструкция подвижного короба с плотным прилеганием стенок короба и поплавка по схеме рисунка 5-б.

- конструкция подвижного короба со стенками, являющимися продолжением внутренних стенок поплавка по схеме рисунка 5-в.

Приводится пример расчёта поплавка с квадратным поперечным сечением для варианта его работы с переливом воды при неподтопленном режиме.

В качестве исходных использовались следующие параметры модели:

- гидравлический масштаб модели  $M=1:25$ ;
- материал для изготовления конструктивных элементов – оргстекло;
- плотность стенок короба и поплавка –  $\gamma_{ст} = 2,4 \text{ кг/дм}^3$ ;
- плотность воды –  $\gamma = 1,0 \text{ кг/дм}^3$ ;
- ширина подвижного короба по наружному обводу –  $B=0,6 \text{ дм}$ ;
- высота стенок короба  $H=1,0 \text{ дм}$ ;
- ширина сечения поплавка  $b$ ;
- толщина стенок подвижного короба и поплавка  $t=3 \text{ мм}=0,03 \text{ дм}$ ;
- расчётный расход модели  $q_m = Q/m^{5/2} = 3000/25^{5/2} = 0,96 \text{ л/с}$ .

Для определения параметров поплавка для конструкции с плотным прилеганием стенок поплавка и подвижного короба, воспользуемся формулой (6).

Подставив предварительно принятые параметры модели (в дм и кг) в (6), получено для модели:

$$b_m = \sqrt{\frac{[\rho_{ст} \cdot b + (\rho_{ст} - 1) \cdot (H_k - b)] \cdot (B_k - t_{ст}) \cdot t_{ст} + \rho_{п} \cdot 4 \cdot (B_k + b) \cdot (b - t_{п}) \cdot t_{п} + \gamma \cdot 0,0975 \cdot Q^{\frac{2}{3}} \cdot b \cdot (B_k + b)^{\frac{1}{3}} + 0,0005}{\rho \cdot (B_k + b)}}. \quad (8)$$

Для определения параметров поплавка для конструкции подвижного короба со стенками, являющимися продолжением внутренних стенок поплавка, воспользуемся формулой (7). Подставив предварительно принятые параметры модели (в дм и кг) в (7), было получено для модели:

$$b = \sqrt{\frac{(\rho_k - 1) \cdot (B_k - t_{ст}) \cdot H_k \cdot t_{ст} + \rho_{п} \cdot 3 \cdot (B_k + b) \cdot (b - t_{п}) \cdot t_{п} + \rho \cdot 0,0975 \cdot Q^{\frac{2}{3}} \cdot b \cdot (B_k + b)^{\frac{1}{3}} + 0,0005}{\rho \cdot (B_k + b)}}. \quad (9)$$



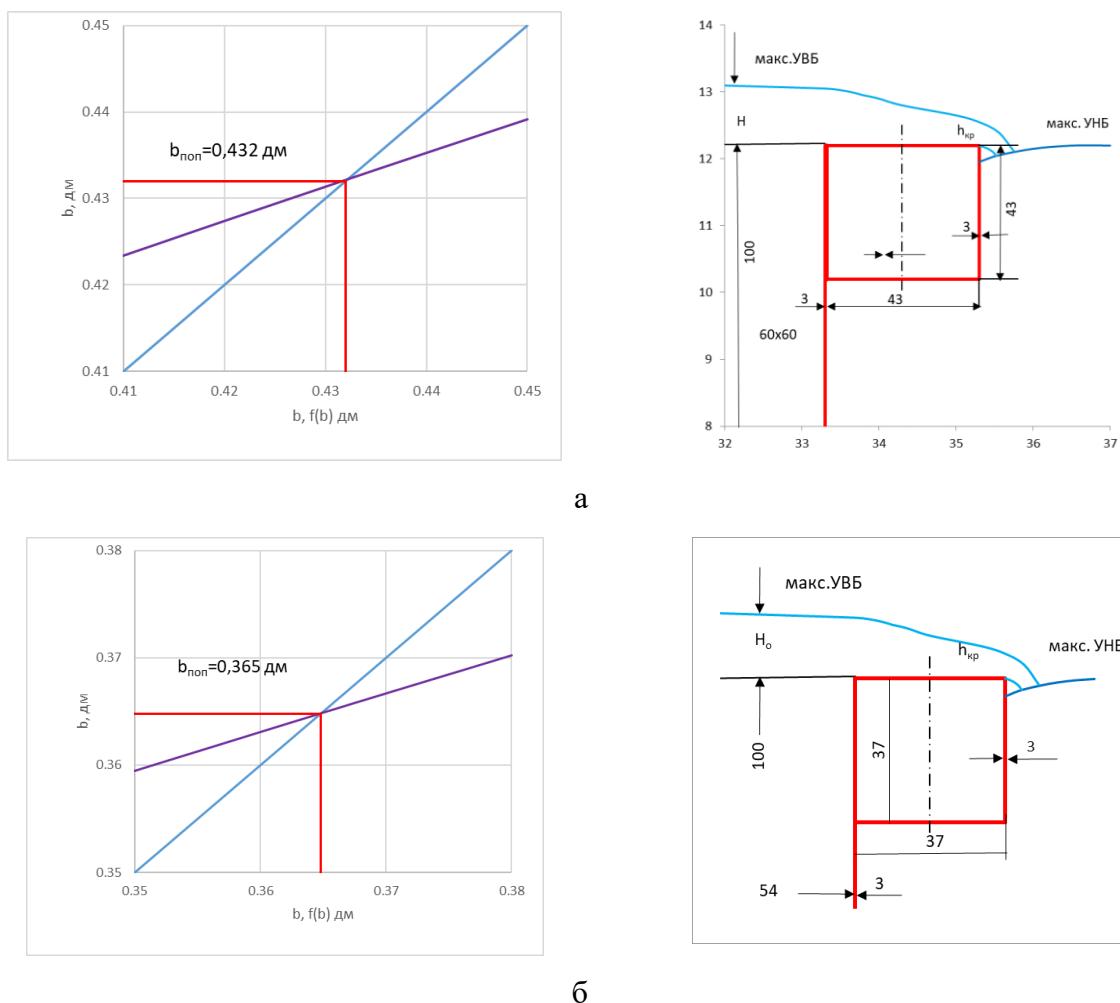


Рисунок 7– Результаты графоаналитического решения уравнения (8, 9):  
 а – графоаналитическое решение уравнения 8 со схемой излива воды из короба;  
 б – графоаналитическое решение уравнения 9 со схемой излива воды из короба

В соответствии с решением этого уравнения для обеспечения плавания подвижного короба при переливе через него максимального расхода потребуется поплавок с наружными габаритами поперечного сечения  $b \times b = 37 \times 37$  мм. Такие параметры поплавка обеспечат положение его верхней грани на уровне воды в отводящем канале.

В третьей главе изучается методика проведения лабораторных и расчётно-графических исследований, даётся описание измерительной аппаратуры и оборудования. Исследования гидравлических условий работы концевых частей телескопического водовыпуска проводились с использованием современных методик замера в стальном гидравлическом лотке в лаборатории водопропускных сооружений кафедры гидротехнических сооружений ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», показанный на рисунках 8.

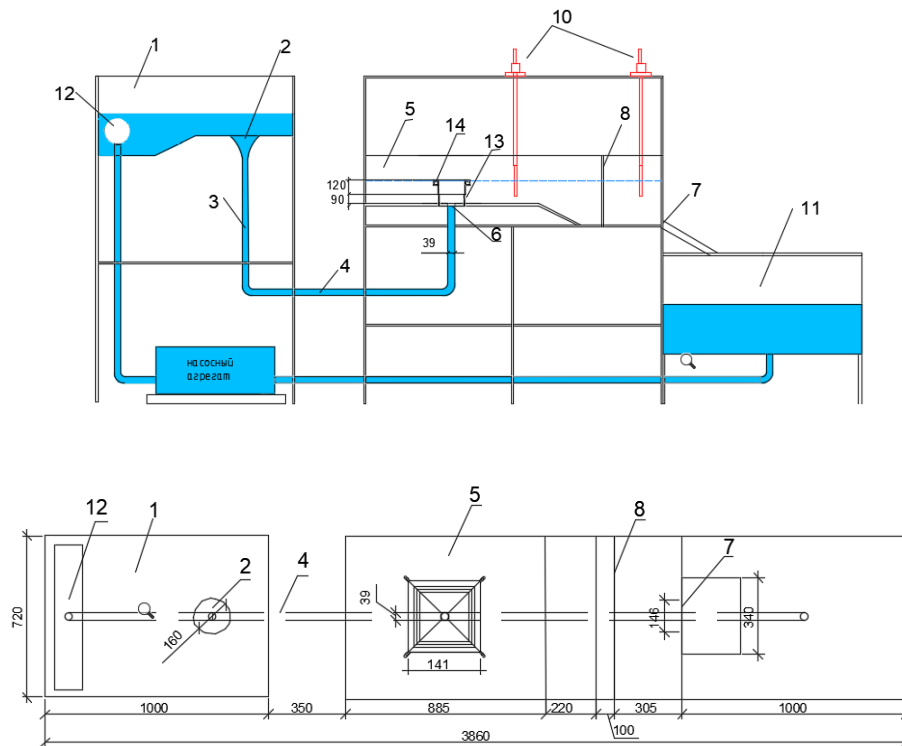


Рисунок 8 – Схема модельной установки: 1 – верхний резервуар; 2 – входной оголовок в виде круговой воронки; 3 – вертикальная цилиндрическая шахта; 4 – транзитная часть водовода; 5 – средний резервуар; 6 – выходные сечения вертикального водовыпуска телескопической конструкции; 7 – мерный водослив треугольного профиля; 8 – успокоительная решетка; 9 – жалюзийные заграждения; 10 – шпитцен-масштабы для измерения отметок поверхности воды; 11 – нижний резервуар; 12 – успокоительный водовыпуск-гаситель напорного трубопровода насосной установки; 13 – конструкция конечного участка; 14 – поплавки

Методологическая база выполненных физических экспериментов включала в себя в том числе: методику измерения расходов при помощи мерных водосливов, методику измерения глубин потока в отводящем канале с помощью шпитцен-масштаба.

Методика обработки результатов измерений, представленная в работе, включая определение: напора воды на гребне водослива-поплавка  $H_{гр}$ , коэффициента расхода водослива-поплавка  $m$  (рис. 9).

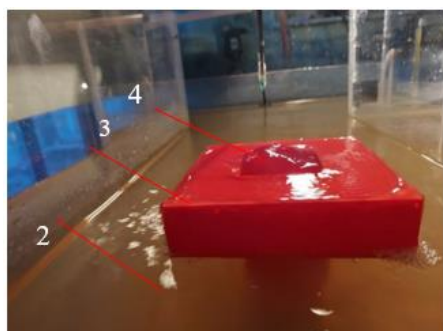
Коэффициент расхода определялся с использованием уравнения для нахождения расхода:

$$Q = m \cdot p \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{1.5}, \quad (10)$$

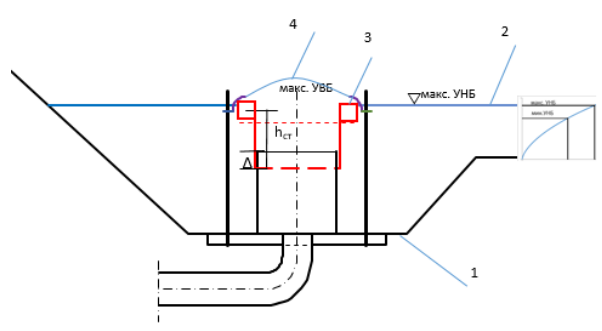
$$m = \frac{Q}{p \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{1.5}}, \quad (11)$$

где  $H$  - напор воды на гребне водослива;  $m$  - коэффициент расхода водослива-поплавка;  $p$  - периметр выходного сечения верхнего подвижного короба.

Выполненная оценка точности измерения показала, что величины находятся в приемлемом диапазоне: 2% - 5%, это позволяет говорить о достоверности результатов.



а



б

Рисунок 9 – Принципиальная конструкция водовыпуска телескопического типа: а – общий вид экспериментальной установки с переливом воды из подвижного короба через гребень поплавка; б – продольный разрез положения водовыпуска при максимальном уровне воды в водоприёмном бассейне: 1– отметка дна; 2– отметка поверхности воды в приемном бассейне; 3– отметка гребня; 4– отметка поверхности воды в выпускном сооружении

В четвертой главе изложены результаты лабораторных экспериментальных исследований. Первым этапом исследований была оценка возможности применения предлагаемой конструкции водовыпускного сооружения телескопического типа насосной станции в практике гидротехнического строительства. Для этого прежде всего надо было показать графики изменений коэффициента расхода водослива-поплавка и напора при разных гидравлических режимах.

Результаты определения значений коэффициент расхода водослива  $m$  в зависимости от расхода показаны на рисунке 10. Полученные значения коэффициента расхода изменялись от 0.31 до 0.45.

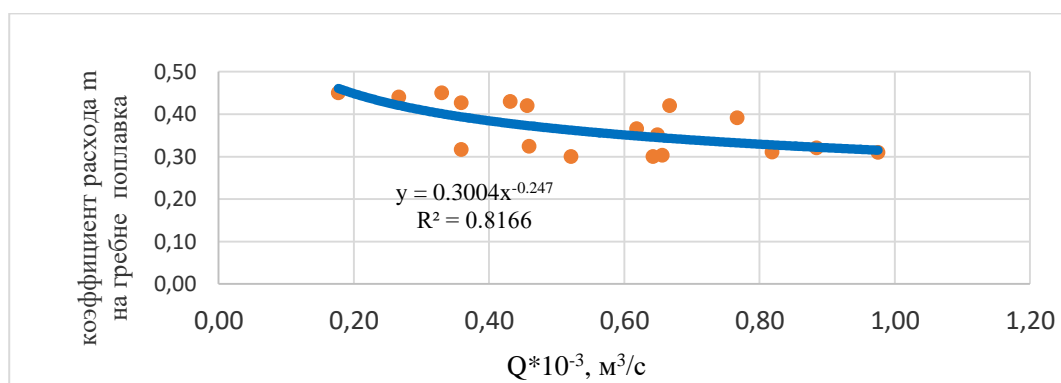


Рисунок 10- График изменения коэффициента расхода водослива-поплавка при разных гидравлических режимах

В результате проведенных экспериментов на физической модели водовыпускного сооружения телескопического типа построен график зависимости расхода от напора на гребне поплавок, представленный на рисунке 11.

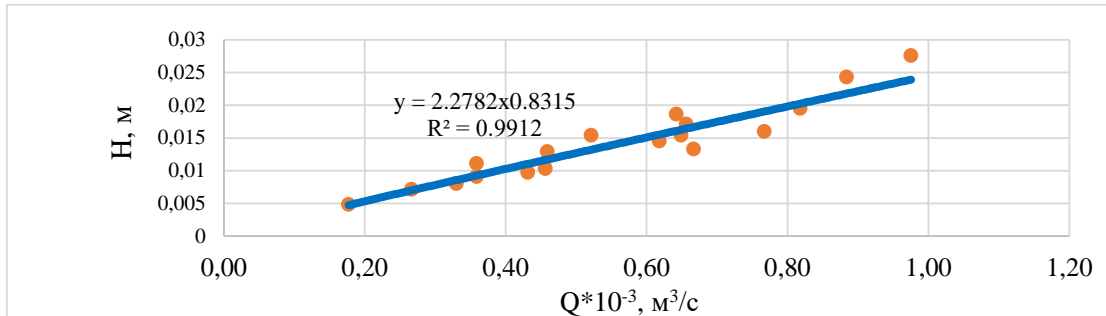


Рисунок 11 – График зависимости расхода  $Q$  от напора на гребне поплавок-водослива

Из рисунка 12 видно, что при увеличении расхода, при постоянном уклоне канала, увеличивается уровень воды, и соответственно отметка поплавок и верхнего короба.

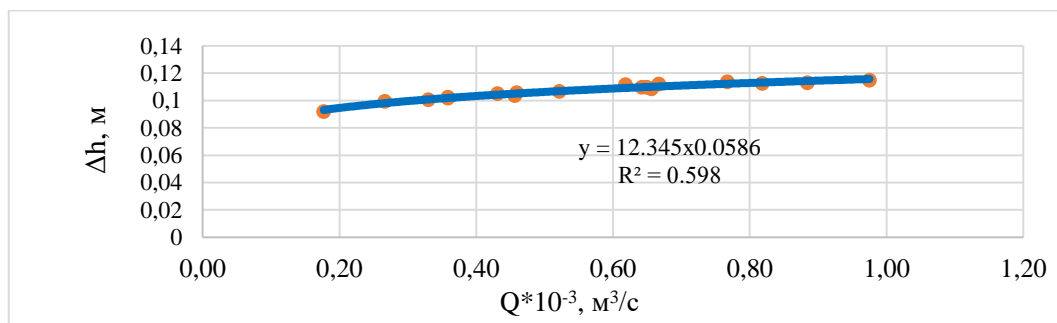


Рисунок 12 – График изменения высоты подъема поплавок  $\Delta h$  в зависимости от расхода

Из сравнения кривых скоростных напоров испытанных режимов видно, что при пропуске расхода из модели выпускного сооружения скоростной напор меньше, что объясняется наличием гидравлических потерь в сооружении и увеличенным сечением выходного верхнего короба (рис.13).

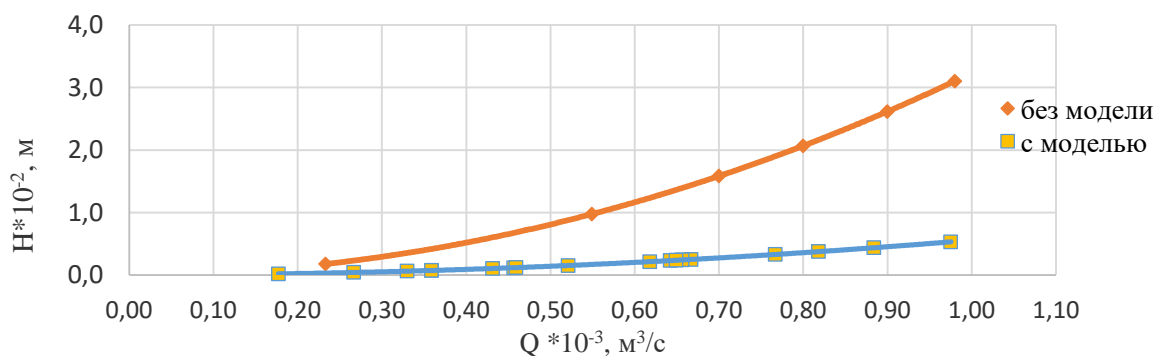


Рисунок 13 – График зависимости скоростного напора от расхода

Полученные результаты сравнения расчётов потерь напора показывают, что предлагаемая конструкция телескопического водовыпускного сооружения работает с минимальными потерями, обеспечивающими снижение требуемого напора насосной станции и стоимости потребляемой электроэнергии в соответствии с фактическим уровнем воды в канале, определяемым графиком подачи воды насосной станцией на орошение гидромелиоративной системой (рис.14).

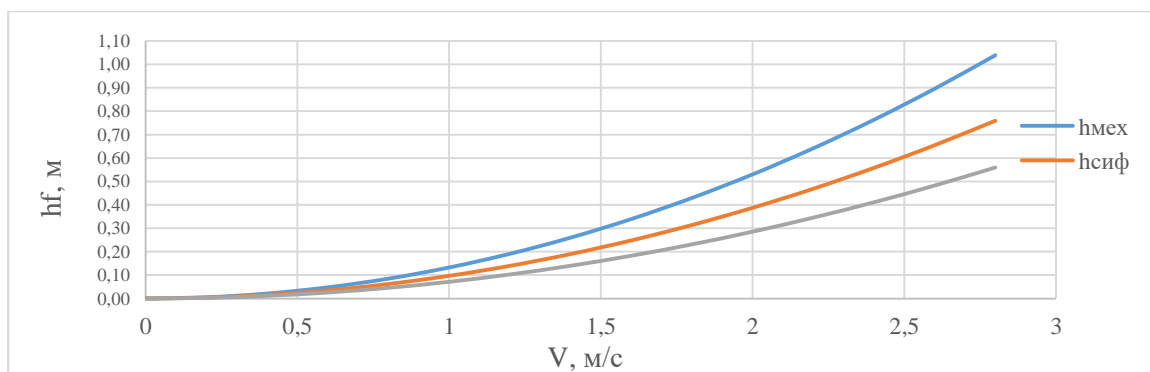


Рисунок 14 – Результаты сравнения расчётов потерь телескопического водовыпуска с существующими аналогичными сооружениями

### Заключение

Основные выводы, полученные в результате проведения лабораторных и расчётно-теоретических исследований, могут быть сформулированы следующим образом:

1. Предложенная к рассмотрению конструкция телескопического водовыпуска обладает простотой обратного клапана, надёжностью и минимальными потерями сифонного водовыпуска.
2. Исследования показали, что в зависимости от материала, технологии производства работ и стоимости электроэнергии, экономически наиболее выгодная скорость составляет 3 м/с, что соответствует скоростному напору  $s_0=0,46$  м. При диаметре напорных трубопроводов  $d_0=0,2 \dots 2,0$  м, отношение  $s_0/r_0$  находится в пределах - 4,6...0,46.
3. Для трёх рассмотренных гидравлических режимов работы подвижного короба с круглоцилиндрическим поплавком, для рассмотренного диаметра трубопровода насосной станции, получены следующие расчётные диаметры поплавка;  $d_{поп}=128$  мм,  $d_{поп}=81$  мм и  $d_{поп}=305$  мм. Определяющим диаметр поплавка является режим с переливом через него воды при подаче максимального расхода трубопровода. Также было получено, что для рассмотренных трёх вариантов исполнения поплавка с квадратным поперечным сечением, наибольшие габариты поплавка по внешнему обмеру получаются при плотном примыкании внутренних стенок поплавка к стенкам подвижной

камеры  $b_n=326$  мм, а минимальные размеры поплавок  $b_n=261$  мм в варианте, когда верхняя часть стенок подвижной камеры одновременно являются внутренними стенками полавка.

4. Лабораторные экспериментальные исследования подтвердили правильность теоретических расчетов параметров подвижного короба с квадратным поплавком. Эксперименты показали, что при исследованных в лаборатории гидравлических режимах, гребень полавка работает как водослив с широким порогом и как водослив практического профиля, относительная ширина исследуемого водослива изменялась от 0,7 до 3,9, а значения коэффициента расхода от 0,31 до 0,45.
5. Полученные результаты сравнения потерь напора показывают, что предлагаемая конструкция телескопического водовыпускного сооружения работает с минимальными потерями, обеспечивающего снижение потерь напора насосной станции и стоимости потребляемой ею электроэнергии в среднем на 10-30% в соответствии с фактическим уровнем воды в канале, определяемым графиком подачи воды насосной станцией на орошение гидромелиоративной системой.

Результаты диссертационной работы, в которой рассматривается один из подходов к реализации решения данной проблемы, могут найти своё практическое применение в проектных решениях насосных станций.

### **Рекомендации производству**

1. При проектировании водовыпуска необходимо особое внимание уделить стыковке подвижных элементов сооружения для исключения возможности увеличения расхода водовыпускного сооружения без использования подвижного короба.
2. Монтаж напорного трубопровода насосной станции с неподвижной бетонной плитой необходимо выполнить с использованием компенсатора с целью исключения возможной расгерметизации стыка в процессе эксплуатации.

### **Перспективы дальнейшей разработки темы**

При дальнейшей разработке темы необходимо предусмотреть расчёт максимально возможного расхода в напорном трубопроводе для исключения возможности несоответствия размеров элементов водовыпуска и подачи насосной станции.

**СПИСОК РАБОТ АВТОРА ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ*****Публикации в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ***

1. Гурьев А.П. Гидравлическое обоснование работы телескопического водовыпускного сооружения в незатопленном режиме / А.П. Гурьев, Н.В. Ханов, Хаек Бушра, А.И. Новиченко // М.: Природообустройство. – 2022. – №5. – С. 114-120
2. Хаек Бушра. Теоретическое обоснование параметров телескопического водовыпускного сооружения с круглоцилиндрическим поплавком / Хаек Бушра // Природообустройство. – 2023. – №1. – С. 47-53.

***Публикации в сборниках материалов конференций и других изданиях***

3. Хаек Бушра. Теоретическое обоснование параметров телескопического водовыпускного сооружения с круглоцилиндрическим поплавком / Хаек Бушра // статья в сборнике трудов конференции: Международная научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 160-летию В.А. Михельсона: сборник статей / Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К. А. Тимирязева (Москва). – 2020. – С. 352-362.
4. Гурьев А.П. Теоретические расчёты параметров телескопического водовыпуска мелиоративной насосной станции / А.П. Гурьев, Н.В. Ханов, Хаек Бушра // Сборник тезисов докладов IV Всероссийского научно-практического семинара: Современные проблемы гидравлики и гидротехнического строительства (г. Москва, 26 мая 2021 г.) . – С. 110-112.
5. Гурьев А.П. Теоретические расчёты параметров струи телескопического водовыпуска мелиоративной насосной станции / А.П. Гурьев, Хаек Бушра // статья в сборнике трудов конференции: Всероссийская с международным участием научная конференция молодых учёных и специалистов, посвящённая 155-летию со дня рождения Н.Н. Худякова. Москва, 07–09 июня 2021 года. Российский государственный аграрный университет - МСХА им. К.А. Тимирязева 2021. – С. 283-287