

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова –  
филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Донской государственный аграрный университет»

На правах рукописи

**Ширяев Вадим Николаевич**

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ  
ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НАПОРНЫХ  
ТРУБОПРОВОДОВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПЕРЕХОДНЫХ  
ПРОЦЕССАХ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ**

Специальность: 06.01.02 – «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»

Диссертация  
на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель –  
Уржумова Юлия Сергеевна,  
кандидат технических наук, доцент

Новочеркасск  
2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|  |           |
|--|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ .....   | 4         |
| <b>1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВАРИАНТОВ<br/>ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ .....</b>                                 | <b>10</b> |
| 1.1 Причины возникновения переходных процессов .....   | 10        |
| 1.2 Средства защиты трубопроводов при переходных процессах .....   | 12        |
| 1.3 Методы расчёта режимов движения жидкости в напорных системах .....   | 18        |
| Выводы по главе .....  | 24        |
| <b>2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЁТА ВВОДА НЕОБХОДИМОЙ<br/>ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ .....</b>                               | <b>26</b> |
| 2.1 Определение полной энергии во всасывающих и напорных<br>трубопроводах основных агрегатов .....   | 27        |
| 2.2 Определение полной энергии во всасывающих и напорных<br>трубопроводах бустерного насоса .....  | 38        |
| 2.3 Расчёт возможности увеличения энергии и кавитационного запаса<br>насосного оборудования на всасывающем трубопроводе .....                  | 42        |
| Выводы по главе .....  | 48        |
| <b>3 НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>   | <b>49</b> |
| 3.1 Методика проведения исследований, измеряемые и определяемые<br>величины .....  | 55        |
| 3.2 Опытное определение величины потенциальной энергии перед<br>обратным клапаном бустерного насоса .....                                      | 58        |
| 3.3 Опытное определение величины потенциальной энергии перед<br>обратным клапаном основного насосного агрегата .....                           | 64        |
| Выводы по главе .....  | 71        |
| <b>4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПУСКА, ЭКСПЛУАТАЦИИ И<br/>ОСТАНОВКИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ<br/>НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ .....</b> | <b>72</b> |
| 4.1 Технологический процесс пуска, эксплуатации и остановки основных<br>насосных агрегатов .....   | 72        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.2 Технологический процесс пуска, эксплуатации и остановки бустерного насосного агрегата .....  | 75         |
| 4.3 Процесс пуска, эксплуатации и остановки насосной станции с использованием линии рециркуляции и передвижной насосной станции .....  | 78         |
| Выводы по главе .....  | 83         |
| <b>5 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ .....</b> | <b>84</b>  |
| 5.1 Энергетическое сравнение характеристик существующего бустерного насоса на исследуемой насосной станции «Междуречье» с рекомендуемым насосным оборудованием .....               | 87         |
| 5.2 Расчёт увеличения затрат от использования в качестве бустерного насоса К 90 / 85 в сравнении с используемым насосом К 90 / 55 .....  | 89         |
| 5.3 Экономическое сравнение предлагаемого насосного оборудования с существующими способами гашения гидравлического удара .....   | 92         |
| Выводы по главе .....  | 95         |
| <b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>  | <b>96</b>  |
| <b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>   | <b>99</b>  |
| <b>СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА .....</b>  | <b>115</b> |
| <b>ПРИЛОЖЕНИЯ .....</b>  | <b>121</b> |
| Приложение А. Патент на изобретение .....  | 122        |
| Приложение Б. Патент на полезную модель .....  | 126        |
| Приложение В. Сертификат участника молодёжного инновационного конвента Ростовской области .....  | 130        |
| Приложение Г. Диплом XXVII специализированной выставки «Агропромышленный комплекс» .....   | 131        |
| Приложение Д. Письмо .....   | 132        |
| Приложение Е. Акт внедрения .....  | 134        |
| Приложение Ж. Договор о творческом сотрудничестве .....  | 135        |

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** В настоящее время основным способом подачи воды на орошение являются закрытые оросительные сети с машинным водоподъёмом. Проведённый Департаментом мелиорации РФ в 2014 году анализ технического состояния мелиоративного комплекса показал, что средний процент износа гидротехнических сооружений и мелиоративных насосных станций составляет более 50 %.

В одном Северо-Кавказском регионе насчитывается 404 станции суммарной мощностью 534517 кВт [95], обеспечивающих основную подачу воды на орошаемые участки. Эксплуатации насосных станций и трубопроводных систем имеет специфические особенности, несоблюдение которых ведёт к аварийным ситуациям, срыву подачи воды, к полной остановке насосной станции. Наибольшую эксплуатационную опасность работы трубопроводных сетей представляют переходные процессы – пуск и остановка насосных агрегатов, изменение местоположения потребителя, срывы безаварийной работы трубопроводной арматуры – задвижек, обратных клапанов, гасителей гидравлических ударов, в результате которых давление в сети и корпусах гидромеханического оборудования может повышаться в сотни раз в случае непредвиденного обратного тока воды по всему поперечному сечению напорного трубопровода и сложившейся благоприятной ситуации для возможности появления гидравлического удара [46, 49, 129, 149]. Одним из примеров подобной остановки может служить затопление в 2015 году трёх насосных агрегатов на головной Арзгирской насосной станции Ставропольского края общей мощностью 3000 кВт, в результате которого прекратилась подача воды на орошение площади более тысячи гектаров, нарушилось питьевое водоснабжение четырёх районов Ставропольского края. Существующие нормы проектирования [23, 57, 90] предусматривают устройства для гашения гидравлических ударов [33], основными из которых являются водо-воздушные колпаки,

вышедшие из строя в настоящее время практически на всех насосных станциях, и ряд различных других конструкций. Вследствие этого, задача поиска оптимальных решений по предотвращению аварийных ситуаций при гидравлических ударах в трубопроводной сети является актуальной, не решённой в достаточной степени в настоящее время.

**Степень разработанности темы.** Впервые исследования гидравлического удара проведены Н. Е. Жуковским в 1897-1898 гг. на Алексеевской водокачке Московского водопровода. На их основе разработана теория гидравлического удара, устанавливающая связь между изменением скорости движения воды и давления в напорных трубопроводах [48].

Полный обзор развития теории гидравлического удара до 1938 г. проведён М. А. Мостковым [76, 77]. Подробно проблеме напорного неустановившегося движения посвящены работы А. А. Сурина [116, 117]. Анализ состояния вопроса повышения давления в напорных трубопроводах до 1961 г. проведён Н. А. Картвелишвили [62, 11, 60, 120].

В дальнейшем проблемой борьбы с непредвиденным повышением давления в трубопроводах занимались многие учёные: Мостков М. А. (1938-1959), Бержерон Л. (1962), Мошнин Л. Ф. (1961-1965), Картвелишвили Н. А. (1961-1975), Чарный И. А. (1951), Мелконян Г. И. (1975), Вишнеvский К. П. (1973), Смирнов Д. Н. (1975), Блохин В. И., Степанов М. П. (1973-2000) гг., а также ряд зарубежных авторов. Анализ литературных источников показал наличие исследований в области разработки теории расчёта повышения давления в трубопроводах. Изучение конструкций систем, предотвращающих появление гидравлического удара и изменений режимов движения жидкости при переходных процессах, показал отсутствие исследований в данной области. В связи с вышеизложенным сформированы цель и задачи исследований.

**Целью настоящей диссертационной работы** является повышение эксплуатационной эффективности напорных трубопроводов оросительных систем при переходных процессах в гидромеханическом оборудовании.

**Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:**

- изучить современные схемы размещения гидромеханического оборудования, влияющие на эксплуатационные проблемы напорных трубопроводов;
- теоретически обосновать возможность изменения гидравлических параметров насосного оборудования без колебаний в потоке трубопроводной сети методом установки бустерного насоса с изменёнными гидравлическими параметрами;
- экспериментально проверить теоретические выводы возможности изменения гидравлических параметров трубопроводной сети, вывести эмпирические зависимости для расчёта характеристик насосного оборудования;
- разработать технологический процесс эксплуатации трубопроводной сети при изменениях гидравлических процессов в напорных трубопроводах;
- экономически обосновать необходимость поддержания трубопроводной сети в состоянии отсутствия вариантов резкого изменения напорно-расходных характеристик насосных агрегатов.

**Научная новизна.** Расчёт изменения характеристик трубопроводных сетей при переходных эксплуатационных процессах, основанный на возможности изменения гидравлических параметров насосного оборудования без резких изменений напорно-расходной характеристики, а также проведённые эксплуатационные экспериментальные исследования позволили:

- усовершенствовать технологический процесс эксплуатации насосного оборудования в случае изменения гидравлических характеристик трубопроводной сети методом установки бустерного агрегата с изменёнными гидравлическими параметрами;
- разработать методику теоретического расчёта возможности изменения гидравлических параметров насосного оборудования без резких колебаний потока в трубопроводной сети;
- вывести экспериментальные зависимости, позволяющие произвести расчёт характеристик насосного оборудования насосной станции.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Теоретическая значимость проведённых исследований заключается в разработке методики расчёта обоснования возможности изменения гидравлических параметров насосного оборудования без резких колебаний в трубопроводной сети, в выводе зависимостей для расчёта характеристик насосного оборудования насосной станции.

Практическая значимость заключается в разработке технологического процесса эксплуатации насосных станций при изменении гидравлических характеристик трубопроводной сети.

**Объектом исследований.** В качестве основного объекта исследований являлся процесс влияния изменения гидравлических характеристик трубопроводной сети на эксплуатационные параметры гидромеханического оборудования насосных станций.

**Предметом исследований** являлась технологическая связь изменения гидравлических параметров трубопроводной сети при переходных режимах насосной станции с возможностью изменения гидравлических параметров насосного оборудования без резких колебаний напорно-расходной характеристики.

**Методология и методы исследований.** Исследования проведены в натуральных условиях на насосной станции «Междуречье» Изобильненского филиала ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз» для проверки теоретического обоснования возможности изменения гидравлических параметров трубопроводной сети и вывода зависимостей для расчёта характеристик насосного оборудования при переходных эксплуатационных процессах насосной станции. Исследования проводились с использованием современной измерительной аппаратуры и методических указаний по планированию эксперимента. При обработке экспериментальных данных использовался ГОСТ 6134-2007 «Насосы динамические», ГОСТ 7.32-2017 «Межгосударственный стандарт. Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

**Положения, выносимые на защиту:**

- методика расчёта возможности изменения гидравлических параметров в потоке трубопроводной сети;
- экспериментальные зависимости для расчёта гидравлических характеристик насосного оборудования насосной станции при переходных эксплуатационных процессах;
- технологический процесс эксплуатации трубопроводной сети при изменениях гидравлических процессов в напорных трубопроводах.

**Степень достоверности и апробация.** Достоверность настоящей работы подтверждается результатами натурных исследований, полученных с использованием современной измерительной тарированной аппаратуры по утверждённым и апробированным методикам.

Апробация результатов проводилась поэтапно с представлением достигнутых результатов, которые были доложены и одобрены на «Молодёжном инновационном конвенте Ростовской области» (Ростов-на-Дону, ВЦ ДонЭкспоцентр, 13 апреля 2018 г.), на международной конференции «Международный журнал передовых исследований в области компьютерных наук и инженерии» (Сент-Луис, Миссури, США, 15-22 апреля 2020 г.), на Всероссийской научно-практической конференции «Наука и образование в инновационном развитии АПК», посвящённой 75-летию Победы в Великой Отечественной войне (Махачкала, ФГБОУ ВО «Дагестанский ГАУ имени М. М. Джамбулатова», 29 апреля 2020 г.), на Международной конференции «Научные исследования стран ШОС: Синергия и интеграция» (16 сентября 2020 год, Пекин, КНР), на Международной научной конференции «Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России», посвящённой 70-летию д-р техн. наук, профессора кафедры «Тракторы и автомобили» Селиванова Николая Ивановича (Красноярск, ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ», 18-19 ноября 2020 г.) (Приложение В, Г).

Результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ приняты для проектирования и эксплуатации оросительных сетей ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз» (Приложение Е, Ж).



**Личный вклад автора в получение результатов, изложенных в работе,** заключается в анализе литературных источников, обосновании направления исследований, проведении лабораторных и натурных исследований, обработке полученных результатов, формировании выводов и предложений производству, во внедрении результатов исследований.

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 13 печатных работах, в том числе шести статьях – в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, по теме диссертационной работы получено четыре патента. Общий объем опубликованных работ 7,65 п.л., из них 5,23 п.л. принадлежит автору.

**Структура и объем диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка используемой литературы и приложений. Работа изложена на 138 страницах машинописного текста и включает в себя 46 рисунков, 23 таблиц, 7 приложений, список используемой литературы из 149 наименований, из них 17 работ зарубежных авторов.

# **1 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ВАРИАНТОВ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕЛИОРАТИВНЫХ СИСТЕМАХ**

Параметры напорных систем водоподачи при эксплуатации непрерывно меняются, и происходящие при этом процессы разделяют на стационарные и переходные [1, 5, 18, 20, 24, 25, 44, 45, 116].

Стационарные процессы предусматриваются проектированием и существенного отрицательного влияния на работу оросительной сети практически не оказывают.

Переходные процессы возникают при изменении стационарных режимов (гидравлических параметров – давления, скорости движения воды), частоты вращения приводных двигателей [13, 19] и других и, как правило, сопровождаются повышением давления (потенциальной энергии), что влечёт за собой аварийные ситуации в трубопроводных системах и корпусах гидромеханического оборудования [7, 10, 34, 35, 42].

## **1.1 Причины возникновения переходных процессов**

Наиболее подробно причины возникновения переходных процессов отражены в работах К. П. Вишневого [24-29] и Д. С. Беглярова [14-17], где авторами указано, что наиболее распространённой и практически неустранимой причиной, является аварийное отключение электроэнергии и остановка приводных двигателей, при которой резко прекращается подача и напор падает до минимума.

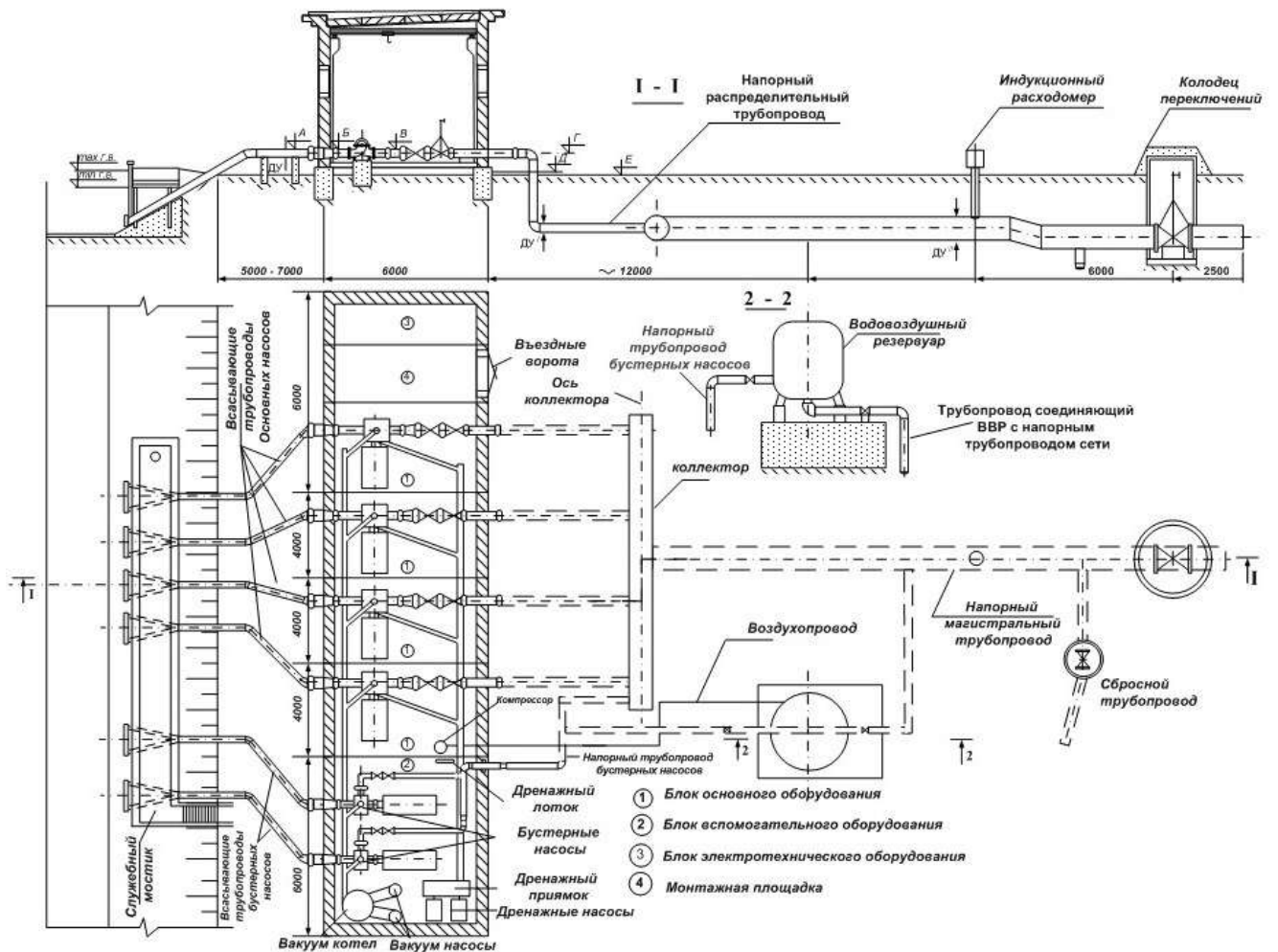


Рисунок 1.1 – Конструктивная схема установки оборудования насосной станции с положительной высотой всасывания и гасителем гидравлического удара водовоздушным колпаком

Другой, также наиболее важной причиной может быть одновременное отключение одного или нескольких параллельно работающих агрегатов [43, 54]. В этом случае наиболее вероятен разрыв сплошности потока, который может наблюдаться в сети, наиболее удалённой от насосной станции. При срабатывании обратного клапана обратное направление движения потока перед насосной станцией может быть вовремя остановлено, но в точках перелома в сети неизбежно нарушается сплошность потока, в которых возникает явление гидравлического удара [26, 29, 80]. При работе насосной станции с вариантами гашения повышенного давления в сети с помощью водовоздушного колпака (рисунок 1.1) могут наблюдаться варианты неисправности трубопроводной

арматуры (обратных клапанов, задвижек), компрессоров для подачи сжатого воздуха, что практически наблюдается в настоящее время на всех действующих мелиоративных насосных станциях.

Изменение режимов движения воды в трубопроводах наблюдается в процессе пуска насосных агрегатов на опорожнённый или затоплённый трубопровод.

При пуске на опорожнённый трубопровод его заполнение происходит при отсутствии давления в сети и минимальном давлении в напорном патрубке насоса и максимальной подаче [79]. При этом потребляемый ток и энергия приводного двигателя максимальные, что приводит к аварийным ситуациям на насосных агрегатах, в электросиловых кабелях, трансформаторных подстанциях [65, 75].

При открытии гидранта при заполненном трубопроводе в месте установки дождевальной техники потенциальная энергия снижается, распространяется, и через некоторое время снижение давления в виде ударных волн подходит к насосной станции и насосным агрегатам. В случае необходимости пуска дополнительных агрегатов, при включении дождевальной техники [40, 41], в других точках оросительной сети давление увеличивается вследствие изменения скорости движения потока, нарушается сплошность, что создаёт очередное условие для увеличения давления в сети и появления возможности гидравлического удара [12, 32, 37, 70, 81, 109].

## **1.2 Средства защиты трубопроводов при переходных процессах**

Средства защиты трубопроводов при переходных процессах [50, 51, 67, 68, 112] выбираются при определении возможной величины повышения давления в трубопроводах и, в основном, разделяются на средства, предназначенные для сброса воды из трубопроводов [4, 93], сброса воды через насосные агрегаты,

сброса воды через обводные линии (байпасы), через предохранительные устройства [9, 36, 38, 52, 125], устройства впуска воды и воздуха [121], аэрационные клапаны [4, 102, 73], водовоздушные резервуары [47, 63, 123, 130].

К. П. Вишневым приводится схема распространения волн повышения давления по напорному трубопроводу, на которой показана величина изменения давления, которая увеличивается до значения полного напора насосной станции (рисунок 1.2).

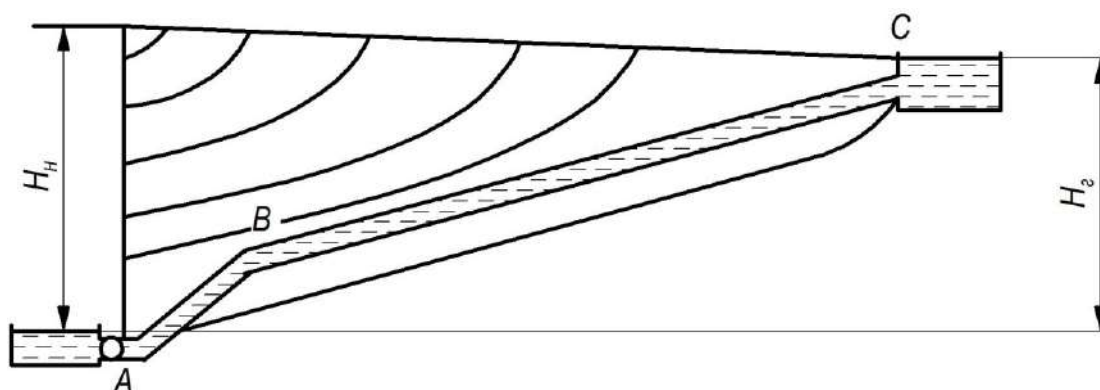


Рисунок 1.2 – Схема распространения волн повышения давления по напорному трубопроводу

По профилю трубопровода видна переломная точка (точка «В»), в которой возможен разрыв сплошности потока. Совершенно очевидно, что переломных точек такого вида в сети может быть множество. При движении воды в обратном направлении в месте нарушения сплошности потока могут наблюдаться разрывы, в которых в дальнейшем колонны разорвавшегося потока могут соединиться. В результате такого соединения происходит явление непредвиденного повышения давления. Удар такого типа может наблюдаться по всей трубопроводной сети [69].

Наиболее вероятной защитой, используемой на насосных станциях от обратного движения потока в трубопроводе, являются обратные клапаны (рисунок 1.3), при закрытии которых давление в трубопроводе повышается.

При использовании обратных клапанов, которые в основном применяются при полной остановке насосной станции и наличии возникновения обратного движения воды, в течение времени закрытия задвижки на напорном трубопроводе срабатывает тарель обратного клапана.



Рисунок 1.3 – Общий вид обратного клапана, используемого на напорных трубопроводах мелиоративных насосных станций

В таком случае режим движения воды в обратном направлении, какое бы ни было минимальное время закрытия задвижки и тарели обратного клапана, как правило, наблюдается и при полном закрытии трубопроводной арматуры, остановка потока сопровождается резким повышением давления до значительных величин. Примером такого повышения давления может служить авария на головной насосной станции Арзгирской оросительной системы Ставропольского края, здание которой было затоплено в 2015 году (рисунок 1.4). Результатом затопления являлось прекращение подачи воды на орошение площади более 1000 га и на питьевое водоснабжение четырёх районов Ставропольского края.

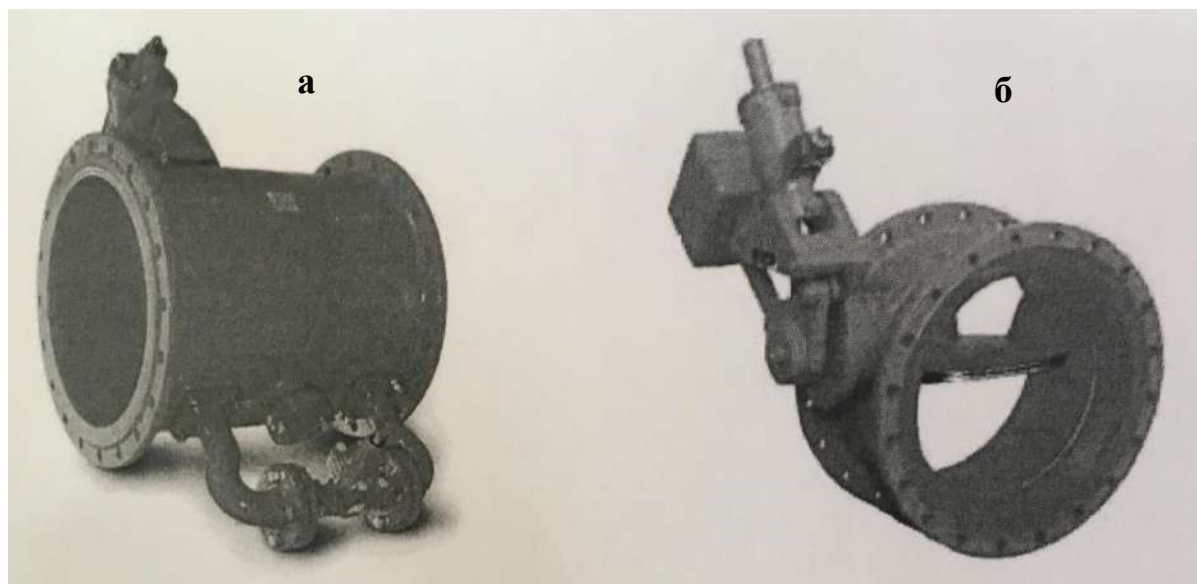
Использование сброса воды через насосные агрегаты для предотвращения повышения давления в сети применяется при вертикально установленном оборудовании на насосных станциях, при коротких напорных трубопроводах с увеличенной подачей. При сбросе воды через горизонтальные насосы может наблюдаться увеличенное реверсивное вращение приводных двигателей, что также приводит к аварийным ситуациям.

Наиболее вероятный сброс воды без резкого увеличения повышения давления может производиться через обратный клапан (рисунок 1.5) с обводной

линией или сброса воды через специальные устройства (клапаны-гасители, предохранительные устройства с разрывной мембраной) [31, 39, 91] (рисунок 1.6).



Рисунок 1.4 – Арзгирская головная насосная станция Ставропольского края после аварии в результате гидравлического удара в напорном трубопроводе (2 июня 2015 год)

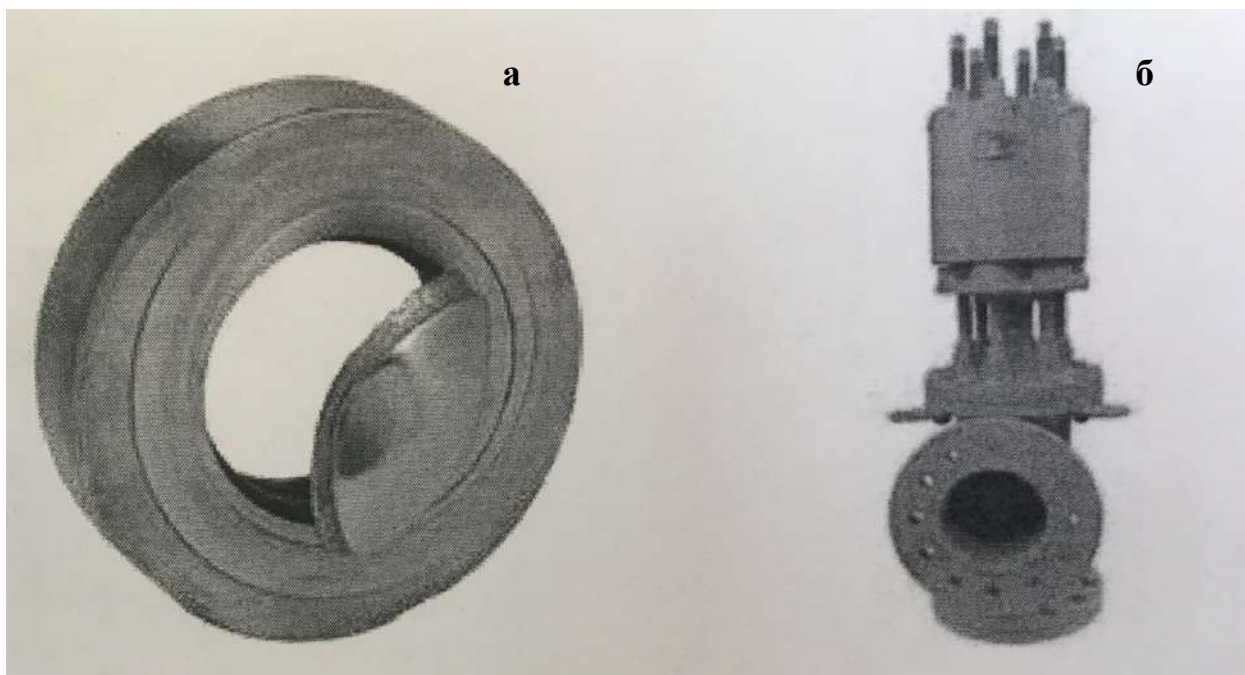


а – обратный клапан с обводной линией;

б – обратный клапан с программированным закрытием

Рисунок 1.5 – Обратные клапаны с обводной линией сброса воды





а – предохранительной устройстве с разрывной мембраной;

б – клапан-гаситель

Рисунок 1.6 – Специальные устройства гашения гидравлических ударов

При использовании устройств для впуска воды (рисунок 1.7) применяется закрытая ёмкость-резервуар, соединённая с напорным трубопроводом [32].

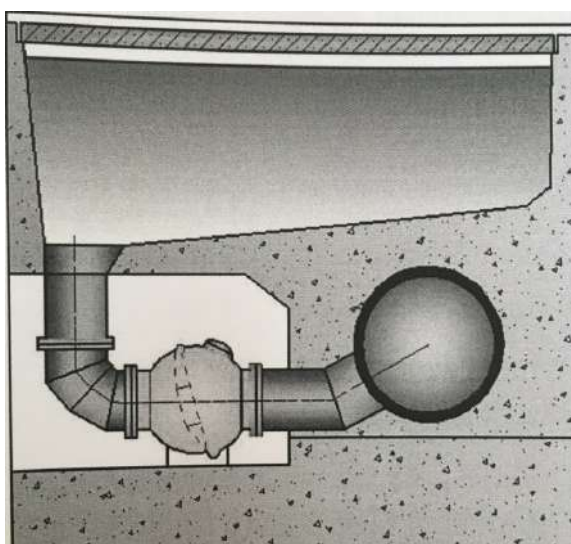


Рисунок 1.7 – Устройство для впуска воды

В случае уменьшения давления в трубопроводе или наличия вакуума открывается обратный клапан, и образовавшаяся пустота заполняется водой,



предотвращая столкновение потоков и гидравлический удар в трубопроводе. При увеличении давления обратный клапан закрывается, и сеть работает в штатном режиме. В период до 2020 года, когда проектирование и строительство насосных станций велось ускоренными темпами, гашение скорости потока в напорных трубопроводах и предотвращение гидравлического удара в сети проводилось с помощью водовоздушных резервуаров – стальных ёмкостей, в основном установленных вертикально и основанием с помощью дополнительного трубопровода врезанных в напорный трубопровод. Резервуары такого вида на 1/3 объёма заполнялись водой, и остальные 2/3 объёма заполнялись воздухом под определённым давлением, который в случае повышения давления в трубопроводе играл роль демпферной пружины, сглаживая волны повышенного давления (рисунок 1.8).

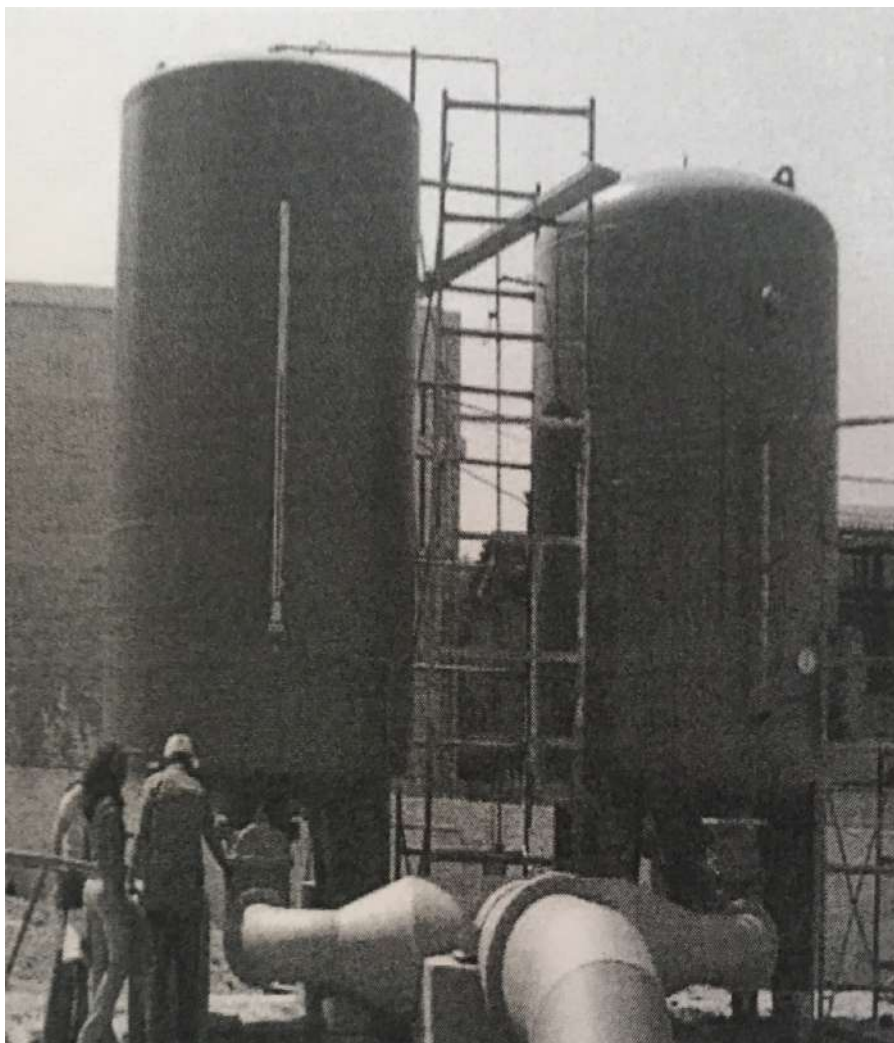


Рисунок 1.8 – Внешний вид резервуара – гасителя повышенного давления в напорных трубопроводах

Из всех перечисленных конструкций гасителей скорости, повышенного давления, гидравлического удара эффективного устройства, обеспечивающего надёжную безаварийную эксплуатацию мелиоративных насосных станций и трубопроводной сети, широкого распространения не получила ни одна [53, 99, 130]. Единственной мерой борьбы с обратным движением потока, используемой в настоящее время, являются обратные клапаны [44, 58, 147], эффективность работы которых не гарантирует безаварийную долговременную эксплуатацию насосных станций [34].

### 1.3 Методы расчёта режимов движения жидкости в напорных системах

Основателем исследований в области напорного неустановившегося движения жидкости считается Н. Е. Жуковский [48].

Обзор теории расчёта гидравлического удара приведён М. А. Мостковым [78], А. А. Суриным до 1952 г. [116]. Н. А. Картвелишвили [11, 61] приведён анализ данного вопроса с 1961 г. по 1975 г. К задачам расчёта напорных систем Н. А. Картвелишвили относил расчёт сложных напорных систем при нестационарном режиме движения.

Напорные системы постоянно развиваются, соответственно увеличивается сложность расчёта с использованием компьютерных технологий, позволяющих проводить расчёты сложных систем. Наиболее трудоёмким расчётом является метод расчёта гидравлического удара. По данному вопросу имеется ряд многочисленных работ российских [2, 5, 6, 8, 10, 21, 26, 28, 48, 66, 72, 81, 86, 89, 97, 107, 113, 124] и зарубежных [133, 136, 137, 138, 139, 141, 143, 145] учёных.

В настоящей работе анализируется несколько методов расчёта гидравлического удара.

*Метод характеристик Н. А. Картвелишвили* [61] представлен уравнением:

$$\frac{dy}{dx} = -\frac{1}{g\omega} - \frac{\partial Q}{\partial t} - i; \quad \frac{dy}{dx} = -\frac{a^2}{g\omega} \cdot \frac{dQ}{dx}. \quad (1.1)$$

Автор, используя данный метод, имеет в виду тот факт, что в трубопроводе гидравлический уклон  $i$  есть функция  $x$  и расхода  $Q$ . Предположив, что величины  $y$  и  $Q$  вдоль какой-то кривой  $x = x(t)$  в плоскости  $(x, t)$ , определяются частным производными  $\frac{dy}{dx}$  и  $\frac{dQ}{dx}$ , определяют полные производные от значений  $y$  и  $Q$  выражением:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\partial y}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial t}; \quad \frac{dQ}{dt} = \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial t}, \quad (1.2)$$

из которого с учётом зависимости (1.1) получены уравнения (1.3), (1.4):

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{a^2 \cdot \left( \frac{1}{g\omega} \cdot \frac{dQ}{dt} + i \right) - \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dy}{dt}}{\left( \frac{\partial x}{\partial t} \right)^2 - a^2} \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial x} = \frac{g\omega \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{dx}{dt} \cdot \left( \frac{dQ}{dt} + g\omega i \right)}{\frac{dx^2}{dt} - a^2} \quad (1.4)$$

При рассмотрении физики гидравлического удара в трубопроводе, исключая силы трения, авторы приходят к выводу о том, что данное явление характеризуется волнами, распространяющимися в трубопроводе в противоположных направлениях. Данный характер сохраняется и наблюдается случай нецилиндрического трубопровода с наличием трения. Предположив в какой-то момент  $t$  в трубопроводе наличие волны АВ (рисунок 1.9 и 1.10) и встречной волны CD, нарушающей волну АВ в районе точки С, частные производные  $\frac{dy}{dx}$  и  $\frac{\partial Q}{\partial x}$  имеют определённые величины, но в точке С становятся неопределёнными.

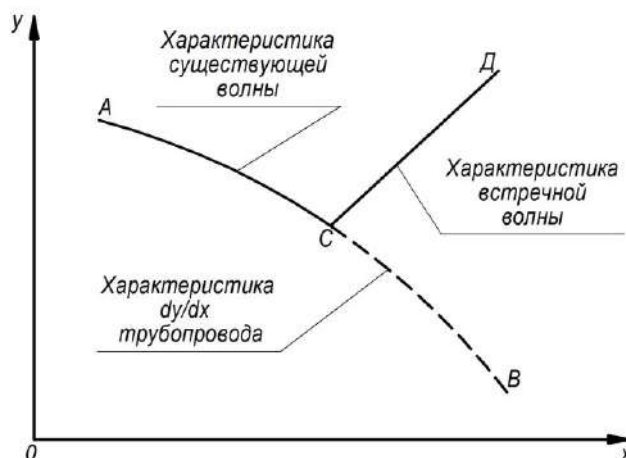


Рисунок 1.9 – Схема волн гидравлического удара в трубопроводе

Приравняв к нулю знаменатели выражений (1.2)-(1.4), авторы [61] получили уравнения, показывающие законы распространения волн.

$$\frac{dx}{dt} = a, \quad (1.5)$$

$$\frac{dx}{dt} = -a. \quad (1.6)$$

Зависимость (1.5) для волны по оси  $x$ , зависимость (1.6) для волн навстречу оси  $x$ .

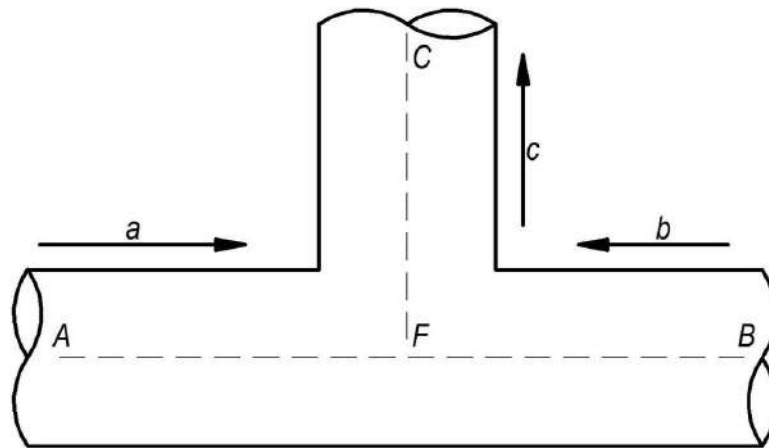


Рисунок 1.10 – Направление волны в тройнике

Приравнявая к нулю числитель уравнения (1.3)  $(a^2 \cdot (\frac{1}{g\omega} \cdot \frac{dQ}{dt} + i) - \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dy}{dt} = 0)$  и подставив значения из выражения (1.2), затем из выражения (1.3), получили зависимости:

$$dy + \frac{a}{g\omega} \cdot dQ + idx = 0, \quad (1.7)$$

$$dy - \frac{a}{g\omega} \cdot dQ + idx = 0, \quad (1.8)$$

при удовлетворении которых числитель уравнения (1.4) обращается в 0. Зависимость (1.6) выражает закон изменения  $y$  и  $Q$  на волне, распространяющейся по закону с использованием зависимости (1.5), уравнение (1.7) – закон  $y = f(Q)$  на волне, так как скорость  $Q$  распространения волн для трубопровода (в общем случае – нецилиндрического) зависит от оси  $x$ . При интегрировании зависимости (1.5) авторами [61] получено уравнение распространения волн:

$$t = \psi(x) + C_1 \quad (1.9)$$

для прямой волны

$$dy + \frac{a}{g\omega} \cdot dQ + idx = 0, \quad (1.10)$$

$$t = -\psi(x) + C_2 \quad (1.11)$$

для обратной волны

$$dy - \frac{a}{g\omega} \cdot dQ + idx = 0, \quad (1.12)$$

где  $C_1$  и  $C_2$  – постоянные производных;

$$\psi(x) = \int \frac{dx}{a}.$$

Данные зависимости называются уравнениями характеристик. При их выводе авторы [11] исходили из того, что фронт волны терпит разрыв непрерывности.

Решения уравнений  $y = y(x, t)$  и  $Q = Q(x, t)$  определяют некоторые поверхности в координатах  $x, t, y$  и  $x, t, Q$ , а зависимость характеристик (1.9), (1.10), (1.11), (1.12) – два семейства кривых на данных поверхностях.

Итак, метод характеристик позволит свести задачу интегрирования исходных уравнений в частных производных к задаче интегрирования простых дифференциальных зависимостей.

В общем случае уравнения характеристик не интегрируются в конечном виде. В частном случае цилиндрического трубопровода ( $a = const, \omega = const$ ) при отсутствии сил трения ( $i = 0$ ) интегрирование уравнений (1.9) и (1.11) даёт:

$$y + \frac{a}{g\omega} Q = const \quad (1.13)$$

$$y - \frac{a}{g\omega} Q = const, \quad (1.14)$$

уравнения которых в этом случае приводят к соотношениям:

$$x = at + const, \quad (1.15)$$

$$x = -at + const. \quad (1.16)$$

Таким образом, сопряжение уравнения гидравлического удара есть не что иное, как уравнения характеристик.

При рассмотрении *численного метода М. А. Мосткова* [78] рассматривается узел сети  $F$  (см. рисунок 1.10). Направление движения жидкости при установившемся режиме показано стрелками. Принимается длина участков труб  $AF, BF, CF$

таких размеров, при которых пробег волны был одинаков на участках ( $\tau_a = \tau_b = \dots = (\tau = l/a)$ ). При расходе воды, поступающей к узлу, М. А. Мостков доказал, что давление в узле  $F$  определяется по формуле:

$$H_F = \frac{\sum(\pi, \varepsilon), (\Omega, \varepsilon)}{\sum \varepsilon} \quad (1.17)$$

$$\varepsilon_j = \frac{g\omega}{a}. \quad (1.18)$$

Имея в виду, что при рассмотрении трубопровода без ответвлений

$$\varepsilon_a = \varepsilon_c = \varepsilon_B = 0 \quad (1.19)$$

с различными упругими свойствами зависимость (1.17) примет вид:

$$H_F = \frac{\pi d \cdot \varepsilon d + \Omega a \cdot \varepsilon a}{\varepsilon d + \varepsilon a}. \quad (1.20)$$

В случае, когда из узла  $F$  происходит истечение в атмосферу, тогда давление в узле  $F$  составит:

$$H_F = H_0 \frac{\sum(\pi, \varepsilon), (\Omega, \varepsilon) - \frac{g_0}{2}}{H \sum \varepsilon + \frac{g_0}{2}}. \quad (1.21)$$

В том случае, если узел  $F$  является отдельной точкой сети, т.е. если происходит только подвод воды к узлу, то  $\sum(\pi, \varepsilon), (\Omega, \varepsilon)$  равна  $\sum \Omega \varepsilon$ , при этом значение  $\pi$  равно нулю.

В случае участка сопротивлений недостатком метода является, как и для элементарного участка трубопроводной сети, сосредоточение всех потерь напора в середине рассматриваемого участка (в узле сопротивлений). В целом же численный метод М. А. Мосткова довольно точен и может найти применение в расчётной практике.

В работе рассмотрен *метод импульсов, разработанный Н. А. Картвелешвили* [11].

Для его обоснования Н. А. Картвелешвили обратился к сопряжённым уравнениям, записанным в виде:

$$Y_{t+\frac{\mu}{2}}^M - Y_t^N = -\frac{a}{q} (V_{t-\frac{\mu}{2}}^M - V_t^N), \quad (1.22)$$

$$Y_{t-\frac{\mu}{2}}^M - Y_t^N = -\frac{a}{q} (V_{t-\frac{\mu}{2}}^M - V_t^N), \quad (1.23)$$

$$Y_{t+\frac{\mu}{2}}^M + Y_{t-\frac{\mu}{2}}^M - 2Y_t^N = -\frac{a}{q} (V_{t+\frac{\mu}{2}}^M - V_{t-\frac{\mu}{2}}^N). \quad (1.24)$$

В дальнейшем данные уравнения приводятся к безразмерному виду, вводя произвольные постоянные – расхода  $Q^*$ , напора  $H^*$ , время  $T^*$ :

$$V = \frac{Y-Y_0}{H^*} \cdot U = \frac{Q}{Q^*} \cdot \tau = \frac{t}{T^*} \cdot \gamma = \frac{\mu}{T^*} \cdot \rho = \frac{aQ^*}{gH^*\omega}. \quad (1.25)$$

В данных обозначениях уравнения (1.22), (1.23), (1.24) принимают вид:

$$V_{\tau+\frac{\nu}{2}}^M - V_{\tau}^N = -\rho(U_{\tau+\frac{\nu}{2}}^M - U_{\tau}^N), \quad (1.26)$$

$$V_{\tau-\frac{\nu}{2}}^M - V_{\tau}^N = -\rho(U_{\tau-\frac{\nu}{2}}^M - U_{\tau}^N), \quad (1.27)$$

$$V_{\tau}^M + V_{\tau-\nu}^M - 2V_{\tau-\frac{\nu}{2}}^N = -\rho(U_{\tau}^M - U_{\tau-\nu}^N). \quad (1.28)$$

При замене  $\tau$  на  $\tau - \frac{\nu}{2}$  зависимости (1.25), (1.26), (1.27) запишутся в виде:

$$V_{\tau-\nu}^M + V_{\tau}^M - 2V_{\tau-\frac{\nu}{2}}^N = \rho(U_{\tau-\nu}^M - U_{\tau}^M), \quad (1.29)$$

$$V_{\tau-2\nu}^M + V_{\tau-\nu}^M - 2V_{\tau-\frac{3\nu}{2}}^N = \rho(U_{\tau-2\nu}^M - U_{\tau-\nu}^M), \quad (1.30)$$

$$V_{\tau-3\nu}^M + V_{\tau-2\nu}^M - 2V_{\tau-\frac{5\nu}{2}}^N = \rho(U_{\tau-3\nu}^M - U_{\tau-2\nu}^M). \quad (1.31)$$

Подстановка производится до значений нижних индексов, которые соответствуют установившемуся режиму  $V_0$ ,  $U^M = U_0^M$ , тогда:

$$U_{\tau}^M = U_0^M - \frac{1}{\rho}V_{\tau}^M - \frac{2}{\rho}(\sum_{i=1} V_{\tau-i\nu}^M - \sum_{i=0} V_{\tau-i\nu-\frac{\nu}{2}}^N) \quad (1.32)$$

Считая точку  $M$  за точку разветвления трубопровода, а  $N$  – за противоположные точке  $M$  концы отходящих от неё ветвей, подставляя в уравнение узла значения  $U^M, U^{M_2}, U^M$  из формулы (1.32), в результате получаем:

$$\begin{aligned} V_{\tau}^M + S_1(\sum_{i=1} V_{\tau-i\nu_1}^M - \sum_{i=0} V_{\tau-\frac{\nu_1}{2}-i\nu_1}^{N_1}) + S_2(\sum_{i=1} V_{\tau-i\nu_2}^M - \sum_{i=0} V_{\tau-\frac{\nu_2}{2}-i\nu_2}^{N_2}) + \dots + \\ + S_n(\sum_{i=1} V_{\tau-i\nu_n}^M - \sum_{i=0} V_{\tau-\frac{\nu_n}{2}-i\nu_n}^{N_n}), \end{aligned} \quad (1.33)$$

где  $S_i$  – коэффициенты ударных волн, определяемые по зависимости

$$S_i = \frac{\frac{1}{\rho_i}}{\frac{1}{\rho_1} + \frac{1}{\rho_2} + \frac{1}{\rho_3} + \dots + \frac{1}{\rho_n}} \quad (1.34)$$

$$V_{\tau}^M = \left\{ -\frac{C\rho(1-k)}{2} a_{\tau} + \sqrt{1 + C\rho(a_0 - ka_{\tau}) + \frac{C^2\rho^2(1-k)^2}{4} \cdot a_{\tau}^2} - 2 \left( \sum_{i=1} V_{\tau-iv}^M - \sum V_{\tau-\frac{v}{2}-iv}^N \right) \right\}^2 - 1. \quad (1.35)$$

По сути метод Н. А. Картвелишвили, в отличие от метода характеристик, позволяет рассчитывать величины удара в сечениях напорной системы от максимального до нулевого момента времени.

Каждая характерная точка системы рассматривается за всё время протекания нестационарного процесса, затем расчёт повторяется для следующей точки.

На основании изложенного обзора методов расчёта движения жидкости в напорных системах, сделаны следующие выводы.

1. Из всех вышеописанных методов расчёта метод Н. А. Картвелишвили наиболее приемлем и позволяет рассчитывать величину удара в сечениях напорных систем от максимального до нулевого момента времени.

2. Описанные методы расчёта нестационарных режимов движения в сложных напорных оросительных системах указывают на то, что в конечных результатах расчёта накапливается ошибка, величина которой зависит от количества узлов разрывности по системе.

3. Во всех предложенных способах расчёта нестационарного режима движения жидкости сказано, что учёт фактических значений коэффициентов деформации ударных волн в узлах разрывности невозможен.

### **Выводы по главе**

1. Явление увеличения давления в напорных трубопроводах происходит, в основном, при переходных процессах в трубопроводной сети и в работе насосных агрегатов насосных станций.



2. Наиболее важным фактором, влияющим на повышение давления в сети, является резкая, несвоевременная остановка обратного движения потока в сети.

3. Среди множества возможных и необходимых переходных процессов, наиболее значимые, влияющие на появление гидравлического удара, являются пуск и остановка дополнительного насосного оборудования в процессе эксплуатации, внезапная полная остановка насосной станции.

4. Из всех перечисленных конструкций гасителей скорости обратного потока и гидравлического удара в трубопроводной сети наибольшее распространение, без гарантированной эксплуатационной эффективности получили обратные клапаны, установленные на напорном трубопроводе насосной станции (в основном, в здании) последовательно с задвижкой.

В связи с вышеизложенным целью настоящей диссертационной работы является повышение эксплуатационной эффективности напорных трубопроводов оросительных систем при переходных процессах в гидромеханическом оборудовании.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– изучить современные схемы размещения гидромеханического оборудования, влияющие на эксплуатационные проблемы напорных трубопроводов;

– теоретически обосновать возможность изменения гидравлических параметров насосного оборудования без колебаний в потоке трубопроводной сети методом установки бустерного насоса с изменёнными гидравлическими параметрами;

– экспериментально проверить теоретические выводы возможности изменения гидравлических параметров трубопроводной сети, вывести эмпирические зависимости для расчёта характеристик насосного оборудования;

– разработать технологический процесс эксплуатации трубопроводной сети при изменениях гидравлических процессов в напорных трубопроводах;

– экономически обосновать необходимость поддержания трубопроводной сети в состоянии отсутствия вариантов резкого изменения напорно-расходных характеристик насосных агрегатов.

## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЁТА ВВОДА НЕОБХОДИМОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЭНЕРГИИ В НАПОРНЫЕ ТРУБОПРОВОДЫ

При эксплуатации насосных станций задача защиты напорных трубопроводов от резких колебаний энергии при переходных процессах является одним из важных факторов надёжной безаварийной эксплуатации оросительных систем [22, 71]. Возникновению гидравлических ударов при движении перекачиваемой воды в обратном направлении, как правило, способствует выход из строя трубопроводной арматуры, приводящий к крупным аварийным ситуациям [34, 77, 126].

Целью настоящих основ расчёта является: теоретическое обоснование необходимости увеличения потенциальной энергии в напорных распределительных трубопроводах основных насосных агрегатов, способствующего закрытию обратных клапанов перед остановкой, предотвращению обратного движения потока и гидравлического удара в сети.

В качестве примера расчёта принимается насосная станция «Междуречье» Изобильненского филиала ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз» с тремя основными насосными агрегатами Д 6300-80 и двумя линиями напорных трубопроводов с  $\varnothing$  1200 мм (рисунки 2.1, 2.2, 2.3).

Расчёт проводится в следующей последовательности:

- рассчитывается полная энергия во всасывающих трубопроводах основного и дополнительного (бустерного) насоса;
- рассчитывается полная энергия в напорных трубопроводах основного и дополнительного насоса;
- по величинам полных энергий рассчитывается напор основного и бустерного насоса;
- по разности напоров определяется возможная величина дополнительной энергии в напорных распределительных трубопроводах при пуске бустерного насоса и степень изменения давления на обратный клапан основного насоса.

## 2.1 Определение полной энергии во всасывающих и напорных трубопроводах основных агрегатов

Для расчёта полной энергии во всасывающих и напорных трубопроводах основного насоса определяются фактические параметры трёх насосных агрегатов при работе на две линии напорных трубопроводов с  $\varnothing$  1200 мм с тремя линиями всасывающих с  $\varnothing$  1200 мм в следующей последовательности.



Рисунок 2.1 – Общий вид насосной станции «Междуречье»



Рисунок 2.2 – Шандорное перекрытие насосной станции «Междуречье»

1. Определяются удельные сопротивления 1, 2 и 3 участков (см. рисунок 2.3)

$$S_i = \lambda \frac{L}{D \omega^2 2g} \quad (2.1)$$

где коэффициент сопротивления  $\lambda$  принимается 0,02, диаметры участков рассчитываются по допустимым скоростям – для всасывающего трубопровода  $V_{0.вс.} = 1,2$  м/с, напорного распределительного  $V_{н.р.} = 2,2$  м/с, напорного магистрального  $V_{н.м.} = 2,5$  м/с. Расчётные данные сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Расчётные данные по определению удельного сопротивления трёх участков сети (всасывающего, напорного распределительного и напорного магистрального трубопровода для основных насосных агрегатов)

| № п/п | Участок | Длина, м | Расчётный, внутренний диаметр (по допустимой скорости), м | Площадь поперечного сечения трубопровода, м <sup>2</sup> | Удельные сопротивления, с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup> |
|-------|---------|----------|---|--|--|
| 1     | Первый  | 13,5     | 1,12  | 0,98   | 0,25   |
| 2     | Второй  | 43,0     | 0,52  | 0,21   | 0,99   |
| 3     | Третий  | 3608     | 1,12  | 0,98   | 3,41   |

2. Определяется удельное сопротивление сети

$$S_c = \sum S_i = 0,25 + 0,99 + 3,41 = 4,65 \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

3. Рассчитываются фактические потери напора в сети для различных подач по зависимости (таблица 2.2)

$$h_{w.c.} = \sum S_i Q^2 \quad (2.2).$$

4. На напорно-расходной характеристике основного насоса Д 6300-80, по данным таблицы 2.2, строятся кривые потерь напора в трубопроводе (рисунки 2.4-2.7).

5. По рисункам 2.4-2.7 определяются фактические гидравлические параметры насосного оборудования при различных эксплуатационных вариантах (таблица 2.3).



- 1 – основные насосные агрегаты; 2 – задвижки на напорных распределительных трубопроводах; 3 – задвижки на всасывающих трубопроводах; 4 – монтажные вставки; 5 – обратные клапаны на напорных распределительных трубопроводах; 6 – обратный клапан бустерного насоса; 7 – задвижка бустерного насоса; 8 – бустерный насос; 9 – задвижки на напорных магистральных трубопроводах; 10 – дренажный приямок; 11 – всасывающие трубопроводы  $D_y = 1200$  мм; 12 – всасывающий трубопровод бустерного насоса  $D_y = 100$ ; 13 – напорный трубопровод бустерного насоса; 14 – напорные распределительные трубопроводы основных насосов; 15 – распределительный коллектор

Рисунок 2.3 – Технологическая схема установки основного и вспомогательного оборудования, всасывающих и напорных трубопроводов

Таблица 2.2 – Фактические потери напора в трубопроводной сети (от всасывающего до напорного магистрального, при работе основных агрегатов)

| Участок 1   |       |      |       |      | Участок 2 |       |       |       | Участок 3 |       |       |       |
|---|-------|------|-------|------|-----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| Один насос на один трубопровод                        |       |      |       |      |           |       |       |       |           |       |       |       |
| Подача, м <sup>3</sup> /с                             | 0,50  | 1,11 | 1,50  | 1,70 | 0,50      | 1,11  | 1,50  | 1,70  | 0,50      | 1,11  | 1,50  | 1,70  |
| Удельное сопротивление с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup> | 0,25  |      |       |      | 0,99      |       |       |       | 3,41      |       |       |       |
| Потери напора на участках, м                          | 0,062 | 0,30 | 0,56  | 0,72 | 0,24      | 1,22  | 2,22  | 2,86  | 0,85      | 4,20  | 7,67  | 9,85  |
| Суммарные потери на трёх участках, м                  | 1,15  | 5,72 | 10,45 | 13,7 | –         |       |       |       | –         |       |       |       |
| Два насоса на один трубопровод                        |       |      |       |      |           |       |       |       |           |       |       |       |
| Подача, м <sup>3</sup> /с                             | 0,50  | 1,11 | 1,50  | 1,70 | 1,0       | 2,22  | 3,0   | 3,4   | 1,0       | 2,22  | 3,0   | 3,4   |
| Удельное сопротивление с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup> | 0,25  |      |       |      | 0,99      |       |       |       | 3,41      |       |       |       |
| Потери напора на участках, м                          | 0,062 | 0,30 | 0,56  | 0,72 | 0,99      | 4,87  | 8,91  | 11,44 | 3,41      | 16,80 | 60,69 | 69,41 |
| Суммарные потери на трёх участках, м                  | –     |      |       |      | 4,46      | 21,97 | 70,16 | 81,57 | –         |       |       |       |

Продолжение таблицы 2.2

|   | Участок 1 |      |      |      | Участок 2 |      |      |       | Участок 3 |       |       |        |
|---|-----------|------|------|------|-----------|------|------|-------|-----------|-------|-------|--------|
| Три насоса на один трубопровод                        |           |      |      |      |           |      |      |       |           |       |       |        |
| Подача, м <sup>3</sup> /с                             | 0,50      | 1,11 | 1,50 | 1,70 | 1,50      | 2,22 | 3,00 | 5,10  | 1,50      | 2,22  | 3,00  | 5,10   |
| Удельное сопротивление с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup> | 0,25      |      |      |      | 0,99      |      |      |       | 3,41      |       |       |        |
| Потери напора на участках, м                          | 0,062     | 0,30 | 0,56 | 0,72 | 2,22      | 4,87 | 8,91 | 25,74 | 7,67      | 16,80 | 30,69 | 88,69  |
| Суммарные потери на трёх участках, м                  | –         |      |      |      | –         |      |      |       | 9,95      | 21,97 | 40,16 | 115,15 |
| Три насоса на два трубопровода                        |           |      |      |      |           |      |      |       |           |       |       |        |
| Подача, м <sup>3</sup> /с                             | 0,50      | 1,11 | 1,50 | 1,70 | 0,75      | 1,66 | 2,25 | 2,55  | 0,75      | 1,66  | 2,25  | 2,55   |
| Удельное сопротивление с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup> | 0,25      |      |      |      | 0,99      |      |      |       | 3,41      |       |       |        |
| Потери напора на участках, м                          | 0,062     | 0,30 | 0,56 | 0,72 | 0,55      | 2,72 | 5,01 | 6,43  | 1,91      | 9,39  | 17,26 | 22,17  |
| Суммарные потери на трёх участках, м                  | –         |      |      |      | –         |      |      |       | 2,52      | 14,93 | 22,83 | 29,32  |



Рисунок 2.4 – Фактические рабочие параметры насоса Д 6300-80 с тремя линиями всасывающего трубопровода и двумя нитями напорного трубопровода (при работе одного насоса на один трубопровод)



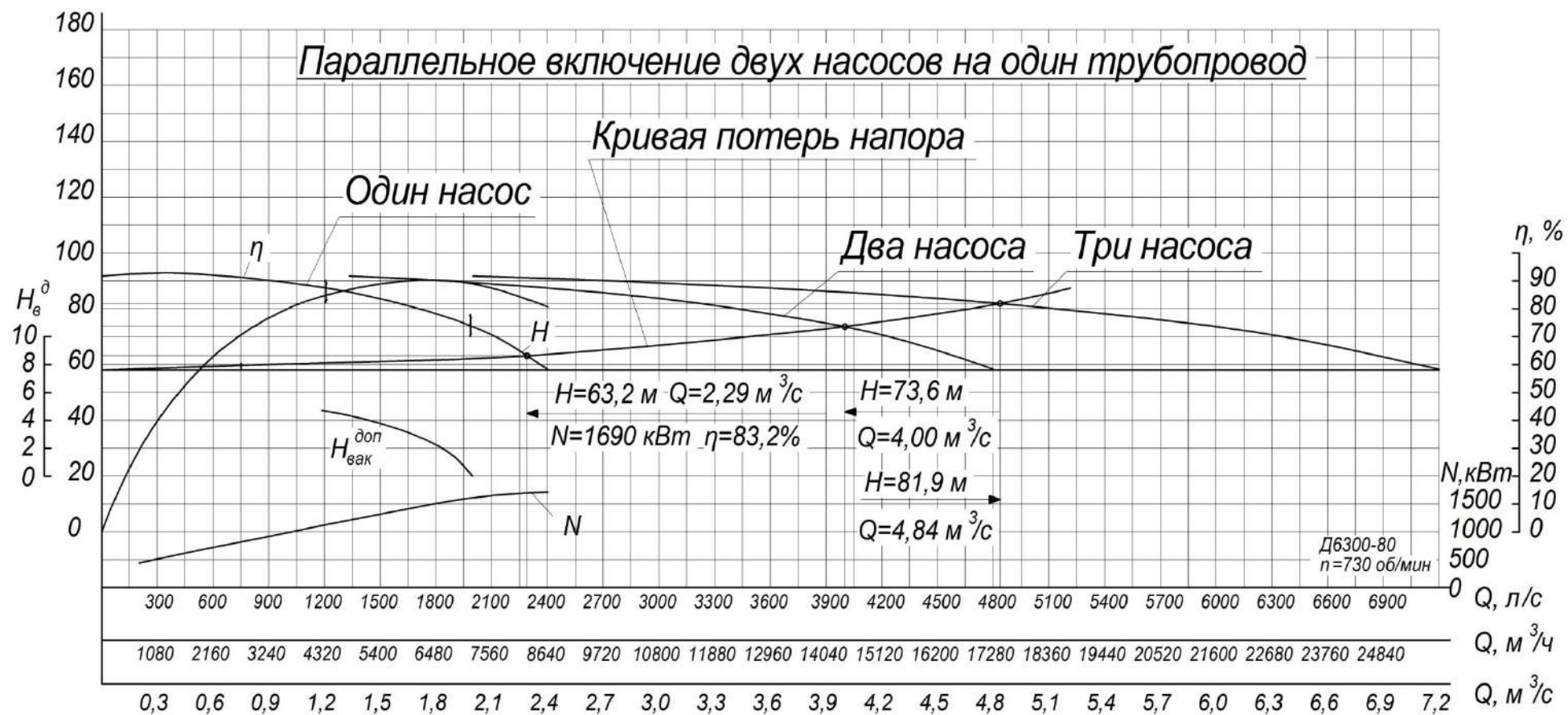


Рисунок 2.5 – Фактические рабочие параметры насоса Д 6300-80 с тремя линиями всасывающего трубопровода и двумя нитями напорного трубопровода (при работе двух насосов на один трубопровод)



Рисунок 2.6 – Фактические рабочие параметры насоса Д 6300-80 с тремя линиями всасывающего трубопровода и двумя нитями напорного трубопровода (при работе трёх насосов на один трубопровод)

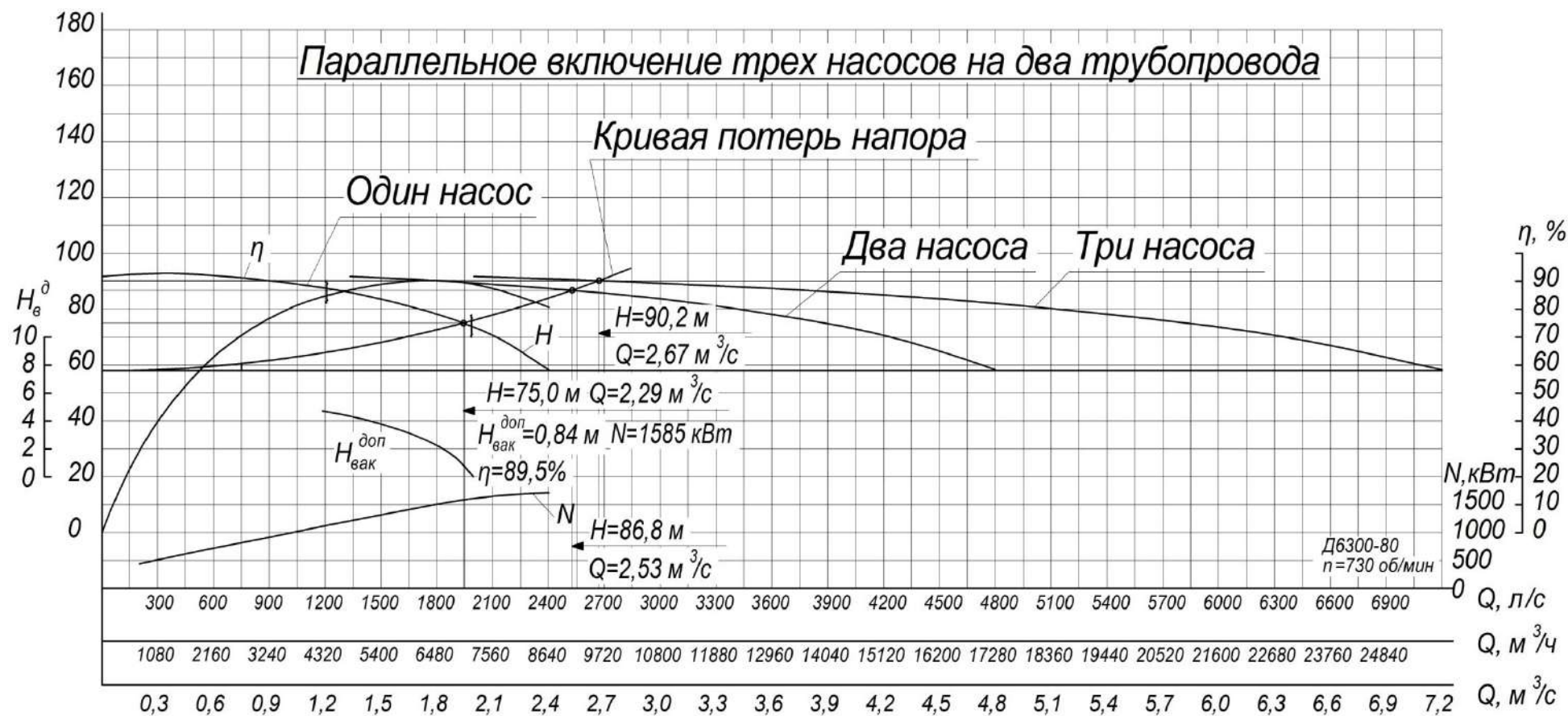


Рисунок 2.7 – Фактические рабочие параметры насоса Д 6300-80 с тремя линиями всасывающего трубопровода и двумя нитями напорного трубопровода (при работе трёх насосов на два трубопровода)

Таблица 2.3 – Фактические гидравлические параметры насосного оборудования при различных эксплуатационных вариантах насосной станции (без учёта высоты подъёма 58,0 м)

| № участка                      | Подача, по рисункам 2.4-2.7, $m^3/c$ | Допустимая вакуумметрическая высота всасывания $H_{доп}^{вак}$ , м | Скорость в трубопроводе, м/с<br>при $d_1=1,12$<br>при $d_2=0,52$<br>при $d_3=1,12$ | Скоростной напор на участках, м<br>$V_1^2/2g$ ,<br>$V_2^2/2g$ ,<br>$V_3^2/2g$ | Потери напора (на участках), $h_{wi}$ , м<br>(таблица 2.2) | Геометрическая высота всасывания, м<br>$H_{Г.ВС} =$<br>$= H_{доп}^{вак} - h_{wi}$ | Полная энергия, м<br>$\mathcal{E}_п = H_{Г.ВС} + \frac{V_i^2}{2g}$ |
|--------------------------------|--------------------------------------|--|--|---|--|---|--|
| 1                              | 2                                    | 3  | 4  | 5   | 6  | 7   | 8  |
| Один насос на один трубопровод |                                      |  |  |   |  |   |  |
| 1                              | 1,93                                 | 0,90   | 1,20   | 0,073   | 0,68   | 0,22  | 0,043  |
| 2                              | 1,93                                 | 0,90   | 2,20   | 0,24  | 0,80   | 0,10  | 0,340  |
| 3                              | 1,93                                 | 0,40   | 1,95   | 0,19  | 15,97  | 0,15  | 75,79  |
| Два насоса на один трубопровод |                                      |  |  |   |  |   |  |
| 1                              | 2,29                                 | 1,00   | 1,20   | 0,073   | 0,80   | 0,20  | 0,273  |
| 2                              | 2,29                                 | 1,00   | 2,50   | 0,32  | 2,40   | -1,20   | 1,36   |
| 3                              | 4,00                                 | 0,50   | 4,06   | 0,84  | 25,14  | -1,50   | 86,34  |

Продолжение таблицы 2.3

| 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6     | 7     | 8     |
|---|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| Три насоса на один трубопровод (без учёта высоты подъёма) |      |      |      |      |       |       |       |
| 1   | 2,29 | 0,88 | 1,80 | 0,16 | 1,60  | -1,00 | 0,60  |
| 2   | 2,29 | 0,88 | 2,20 | 0,24 | 4,00  | -1,50 | 10,40 |
| 3   | 5,80 | 0,95 | 2,60 | 0,34 | 17,30 | -1,50 | 15,80 |
| Три насоса в два трубопровода (без учёта высоты подъёма)  |      |      |      |      |       |       |       |
| 1   | 2,29 | 1,24 | 2,20 | 0,24 | 2,20  | -1,50 | 10,80 |
| 2   | 2,99 | 1,50 | 2,60 | 0,34 | 2,20  | -1,50 | 12,40 |
| 3   | 2,67 | 1,66 | 2,43 | 0,30 | 15,40 | -1,50 | 16,20 |

6. По фактической величине  $H_{\text{доп}}^{\text{вак}}$  определяется геометрическая высота всасывания основного насоса (2.3), (2.4):

$$H_{\text{доп}}^{\text{вак}} = H_{\text{г.о}} + \sum h w_{\text{вс.о.}} + \frac{V_{\text{вс.о.}}^2}{2g}, \quad (2.3)$$

откуда 
$$H_{\text{г.о}} = H_{\text{доп}}^{\text{вак}} - \sum h w_{\text{вс.о.}} - \frac{V_{\text{вс.о.}}^2}{2g}. \quad (2.4)$$

Полученные данные приведены в таблице 2.3.

7. По таблице 2.3 определяется:

- полная энергия во всасывающем трубопроводе  $\mathcal{E}_{\text{вс}}$ ;
- полная энергия в напорном трубопроводе  $\mathcal{E}_{\text{н}}$ ;
- по зависимости

$$H_0 = \mathcal{E}_{\text{н}} - \mathcal{E}_{\text{вс}}, \quad (2.5)$$

определяется напор основных агрегатов для условий эксплуатации, показанных на рисунках 2.4-2.7.

## **2.2 Определение полной энергии во всасывающих и напорных трубопроводах бустерного насоса**

Расчёт величины напора вспомогательного (бустерного) насоса (рисунок 2.8) проводится в последовательности, приведенной для основных агрегатов.

Вода в напорный магистральный трубопровод (третий участок) подаётся по двум участкам: всасывающему (первый участок) и напорному распределительному (второй участок).

1. Определяются удельные сопротивления на участках по зависимости (2.1) (таблица 2.4).

2. Определяются фактические потери напора в сети для различных подач (таблица 2.5).

Таблица 2.4 – Расчётные данные по определению удельного сопротивления трёх участков сети (всасывающего, напорного распределительного и напорного магистрального трубопроводов) для бустерного насоса

| Участок | Длина, м | Расчётный внутренний диаметр (по допустимой скорости), м | Площадь поперечного сечения трубопровода, м <sup>2</sup> | Удельное сопротивление, с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup> | Удельное сопротивление сети, с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup> |
|---------|----------|--|--|--|---|
| Первый  | 12,2     | $D = 0,10(0,088)$  | 0,008  | 490,58   | 2721,58   |
| Второй  | 48,0     | $D = 0,10(0,088)$  | 0,008  | 2227,1   |   |
| Третий  | 3608     | $D = 1,2(1,12)$  | 0,98   | 3,90   |   |

Удельное сопротивление сети  $S_{\text{сети}} = \sum S_i = 2721,58$ .

Таблица 2.5 – Фактические потери напора в трубопроводной сети (от всасывающего до напорного магистрального трубопроводов при работе бустерного насоса)

|   | Участок 1 |       |       |       | Участок 2 |       |       |       | Участок 3 |       |       |       |
|---|-----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|
| Подача, м <sup>3</sup> /с                             | 0,012     | 0,024 | 0,036 | 0,042 | 0,012     | 0,024 | 0,036 | 0,042 | 0,012     | 0,024 | 0,036 | 0,042 |
| Удельное сопротивление с <sup>2</sup> /м <sup>5</sup> | 490,58    |       |       |       | 2227,1    |       |       |       | 3,90      |       |       |       |
| Потери напора на участках, м                          | 0,07      | 0,28  | 0,63  | 0,86  | 0,32      | 1,28  | 2,88  | 3,92  | 0,0056    | 0,022 | 0,055 | 0,068 |
| Суммарные потери на трёх участках, м                  | –         |       | –     |       | 0,45      |       | 1,78  |       | 4,51      |       | 5,46  |       |

3. По данным таблицы 2.5 на напорно-расходной характеристике бустерного насоса К 90 / 85 строится кривая потерь напора для возможных различных подач (рисунок 2.9).





Рисунок 2.8 – Расположение бустерного агрегата на исследуемой насосной станции «Междуречье»

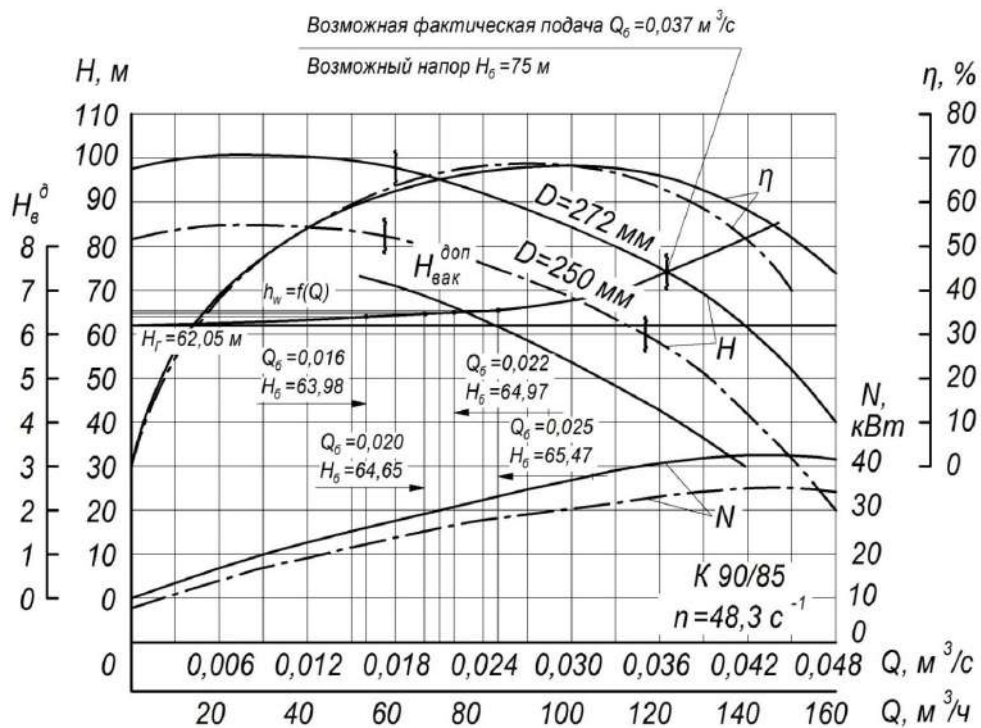


Рисунок 2.9 – Фактические рабочие параметры бустерного насоса К 90 / 85

4. По рисунку 2.9 определяются фактические гидравлические параметры бустерного насоса (таблица 2.6).



Таблица 2.6 – Фактические гидравлические параметры бустерного насоса (геометрическая высота подъёма  $H_2 = 58,0$  м)

| № участка                          | Подача, $\text{м}^3/\text{с}$ | Допустимая вакуумметрическая высота всасывания $H_{\text{доп}}^{\text{вак}}$ , м | Скорость в трубопроводе, м/с | Скоростной напор, $V_6^2/2g$ , м | Потери напора на участках, $hw_6$ | Геометрическая высота всасывания (нагнетения) 3,53 (58,0) | Полная энергия $\text{Э}_{\text{п.б.}}$ , м |
|------------------------------------|-------------------------------|--|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|---|---|
| 1                                  | 0,037                         | Всасывающий трубопровод  |                              |                                  |                                   |   |   |
|                                    |                               | 4,2  | 2,09 (Ø 100)                 | 0,22                             | 0,67                              | 3,53  | 4,42  |
| 2                                  |                               | Напорный распределительный трубопровод   |                              |                                  |                                   |   |   |
|                                    |                               | 4,2  | 7,36 (Ø 100)                 | 2,76                             | 3,04                              | –   | 5,50  |
| 3                                  |                               | Напорный магистральный трубопровод   |                              |                                  |                                   |   |   |
|                                    |                               | 4,2  | 0,033 (Ø 1200)               | 0,0005                           | 40,68                             | 58,0  | 98,68                                       |
| Суммарная энергия на трёх участках |                               |  |                              |                                  |                                   |   | 108,60                                      |

Для определения возможности использования бустерного насоса в качестве усилителя полной энергии после обратного клапана основного насоса анализируются данные таблиц 2.3 и 2.6, по которым рассматриваются величины полной энергии основных агрегатов в напорном трубопроводе при возможных эксплуатационных вариантах (один насос на один трубопровод, два насоса на один трубопровод, три насоса на один трубопровод и три насоса на два напорных трубопровода) и величины полной энергии бустерного насоса, определяется степень увеличения полной энергии и принимается решение о возможности закрытия обратного клапана основного насоса перед остановкой приводного двигателя [59]. По рассмотренным эксплуатационным вариантам основных насосов видно, что наибольшая энергия в напорном трубопроводе (в месте установки обратного клапана) наблюдается при работе двух агрегатов на один трубопровод. Превышение максимальной величины полной энергии бустерного насоса на 22,26 м возможно в случае наихудшего варианта эксплуатации двух основных насосов на один трубопровод.

### **2.3 Расчёт возможности увеличения энергии и кавитационного запаса насосного оборудования на всасывающем трубопроводе**

Эффективность принятия решений по вводу дополнительной энергии в напорные трубопроводы для предварительного закрытия обратных клапанов перед остановкой основных насосов во многом зависит от геометрической высоты всасывания (кавитационного запаса) и потерь напора во всасывающем трубопроводе, так как при расчёте полной энергии и определении фактических параметров гидромеханического оборудования всасывающие трубопроводы играют немаловажную роль, по результатам расчёта которых вычисляются отметки оси насоса.

Определяемые по кавитационному запасу [64, 88, 108] или значению допустимой вакуумметрической высоты всасывания обе вышеуказанные величины являются факторами, отражающими способность того или иного типа оборудования, по которым в дальнейшем проводятся все расчёты [87]. При изменении какой-то из двух вышеуказанных величин в процессе эксплуатации, падении отметки горизонта водоисточника, в случае заиливания подводящих к аванкамере сооружений или изменения общих гидрологических характеристик водоисточника, засорения водозаборных сооружений, заиливание всасывающих трубопроводов, способствующее увеличению скорости потока и, соответственно, потерь напора, напорно-расходная характеристика насосного оборудования резко меняется, уменьшается подача, напор, КПД, вплоть до полной остановки насосной станции. При установке нескольких агрегатов на насосной станции расчёт отметки оси насоса несколько изменяется. В данном случае для возможности эксплуатации насосного оборудования в бескавитационном режиме (кавитационного запаса) вышерассчитанных насосных агрегатов Д 6300-80, характеристика которых показана на рисунках 2.4-2.7 для диаметров всасывающих трубопроводов 1200 мм, произведён расчёт потерь напора в следующей последовательности.

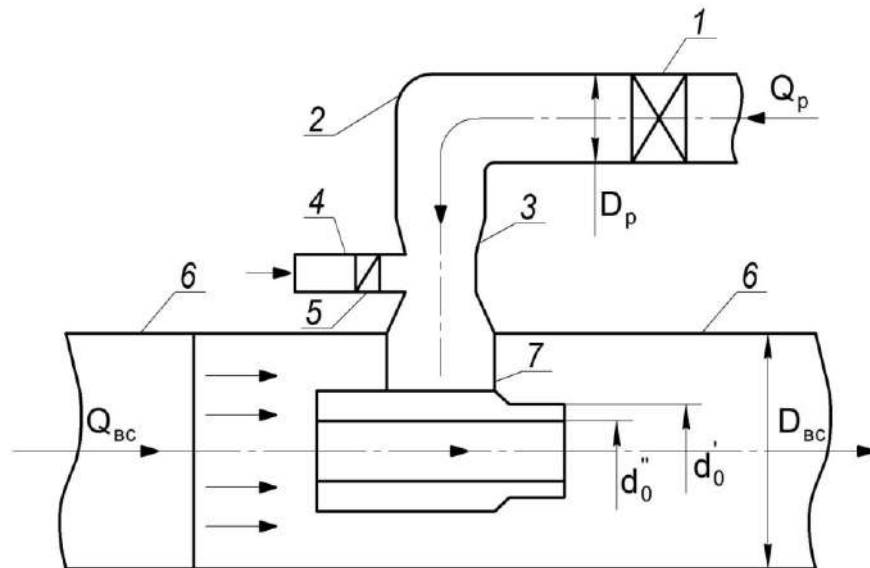
1. По ранее рассчитанной и приведённой в таблице 2.1 характеристике принимаются для всасывающей линии расчётные потери напора 0,56 м независимо от количества включённых агрегатов, так как в насосных станциях, оборудованных центробежными насосами, как правило, каждый агрегат имеет свой всасывающий трубопровод.

2. По таблице 2.3 принимаются значения геометрической высоты всасывания – 1,5 м, при эксплуатации в наиболее сложных условиях (три насоса на один трубопровод).

3. На основании схемы установки оборудования на исследованной насосной станции (см. рисунок 2.3) определяется фактическая геометрическая высота всасывания, составляющая 1,1 м (ниже возможной высоты всасывания насосов при расчётных подачах до 2 м<sup>3</sup>/с данного типа на величину 0,3 м).

В случае увеличения подачи выше  $2 \text{ м}^3/\text{с}$  эксплуатация насосов переходит в кавитационный режим вплоть до полной остановки агрегатов.

Анализ вышеизложенного показывает необходимость разработки вариантов повышения высоты всасывания установкой линии рециркуляции и аппаратов, повышающих потенциальную энергию во всасывающих трубопроводах. Для исключения аварийных ситуаций в работе предлагается повышение кавитационного запаса установленных насосов по схеме (рисунок 2.10), предусматривающей на всасывающих трубопроводах устанавливать струйные аппараты, работающие от линии рециркуляции и повышающие потенциальную энергию при входе в насос при падении уровня в водоисточнике.



- 1 – задвижка; 2 – линия рециркуляции; 3 – конфузор; 4 – воздухопровод; 5 – клапан;  
6 – всасывающий трубопровод; 7 – рабочий трубопровод струйного аппарата.

Рисунок 2.10 – Схема установки струйного аппарата во всасывающем трубопроводе основного насоса

Установка работает следующим образом.

При необходимости изменения высоты всасывания насоса открывается задвижка 1 линии рециркуляции 2, и водяной поток в конфузоре 3, вследствие увеличенной скорости, создаёт вакуум в воздухопроводе 4, способствующий открытию клапана 5 и впуску воздуха во всасывающий трубопровод насоса для увеличения энергии и возможности регулирования подачи.

Расчёт увеличения энергии во всасывающем трубопроводе проводится для кольцевого струйного аппарата с повышенными энергетическими характеристиками [94, 103] и сводится к определению напора, величина которого фактически равна значению повышения кавитационного запаса рассматриваемого насосного оборудования. Исходные данные для расчёта приведены в таблице 2.7, расчёт – в таблице 2.8.

Таблица 2.7 – Исходные данные для расчёта величины увеличения потенциальной энергии во всасывающем трубопроводе с помощью линии рециркуляции и кольцевого струйного аппарата

| Линия рециркуляции  |   | Коэффициенты гидравлических сопротивлений |   | Диаметр всасывающего трубопровода основного насоса                             | Геометрическая высота всасывания, м |
|---|---|---|---|--|-------------------------------------|
| Подача, м <sup>3</sup> /с   | Напор, м  | Сопла $\zeta_0$                           | Линии рециркуляции $\lambda_p$                |  |                                     |
| Расчётная (принимается по допустимой скорости 2,5 м/с и диаметру трубопровода 150 мм) 0,044 м <sup>3</sup> /с | Принимается по фактическим значениям 76 м (рисунок 2.5) | Принимается по нашим опытным данным [132] | Для стальных трубопроводов 0,02 (таблица 3.4) | Принимается по фактическим величинам, установленным на насосной станции, 1,2 м | 1,5 м (рисунок 2.5)                 |

По расчётным данным видно, что значение скоростного напора во всасывающем трубопроводе с установкой струйного аппарата практически не увеличивает величину кинетической энергии 0,87 м против 0,77 м и на полную энергию не оказывает существенного влияния. На полную энергию во всасывающем трубопроводе наибольшее влияние оказывает напор струйного аппарата, фактически повышающий значение кавитационного запаса на 9,29 м и снижающий напор насоса, и, соответственно, потребляемую мощность.

Таблица 2.8 – Расчёт увеличения энергии во всасывающем трубопроводе рассматриваемого насоса Д 6300-80

| № п/п | Наименование параметра   | Единицы измерения | Расчётная зависимость   | Ссылка на литературный источник | Количество |
|-------|--|-------------------|---|---------------------------------|------------|
| 1     | 2  | 3                 | 4   | 5                               | 6          |
| 1     | Напор в линии рециркуляции (в рабочем трубопроводе струйного аппарата) $H_{нпр}$   | м                 | Принимается фактическая величина по рисунку 2.5   | –                               | 73,6       |
| 2     | Коэффициент эжекции струйного аппарата $\alpha_0$ (отношение подсосываемого расхода $Q_1$ к расходу в рабочем трубопроводе $Q_0$ ) | –                 | Принимается для максимального КПД, 40 %   | [94]                            | 2,0        |
| 3     | Геометрическая характеристика «m» (отношение площади поперечного сечения сопла к площади поперечного сечения камеры смешения)      | –                 | Принимается   | [128]                           | 4,0        |
| 4     | Относительный напор струйного аппарат, $\bar{H}_r$ (фактическая относительная величина увеличения кавитационного запаса)           | –                 | $\bar{H}_r = 1/m$<br>(отношение действительного напора $H_{г.пр}=20$ м к скоростному напору $V_0^2/2g$ )        | [128]                           | 0,20       |
| 5     | Скорость в сопле струйного аппарата, $V_0$   | м/с               | $V_0 = \varphi \sqrt{2g \cdot H_{нпр}} = 0,8 \sqrt{19,62 \cdot 73}$   | [9]                             | 30,19      |
| 6     | Скоростной напор в сопле, $V_0^2/2g$   | м                 | $V_0^2/2g = 30,19^2/19,62$  | [9]                             | 46,45      |
| 7     | Подача в линии рециркуляции (рабочем трубопроводе струйного аппарата, $Q_0$ )  | м <sup>3</sup> /с | Рассчитывается по скорости $V_p$ и диаметру линии рециркуляции 2,5 м/с, $D_p = 150$ мм, $Q_0 = 0,785 D_p^2 V_p$ | [9]                             | 0,044      |

Продолжение таблицы 2.8

| 1  | 2  | 3                 | 4   | 5     | 6     |
|----|--|-------------------|---|-------|-------|
| 8  | Подсасываемый расход струйного аппарата, $Q_1$   | м <sup>3</sup> /с | $Q_1 = \lambda_0 \cdot Q_0 =$<br>$= 0,044 \cdot 2,0$                            | [9]   | 0,088 |
| 9  | Суммарный расход в струйном аппарате, $Q_2$  | м <sup>3</sup> /с | $Q_2 = Q_0 + Q_1 =$<br>$= 0,044 + 0,088$  | –     | 0,132 |
| 10 | Суммарный расход во всасывающем трубопроводе основного насоса, $Q_H$   | м <sup>3</sup> /с | Принимается фактическая величина по рисунку 2.5 (два насоса в один трубопровод) | –     | 4,0   |
| 11 | Расход во всасывающем трубопроводе (без суммарного расхода струйного аппарата)   | м <sup>3</sup> /с | $Q'_H = Q_H - Q_2 =$<br>$= 4,0 - 0,088$   | –     | 3,91  |
| 12 | Скоростной напор во всасывающем трубопроводе основного насоса (фактически без расхода линии рециркуляции и подсасываемого расхода в струйном аппарате) | м                 | $\frac{V_H^2}{2g} = \frac{3,91^2}{19,62}$                                       | [103] | 0,77  |
| 13 | Скоростной напор с учётом суммарного расхода струйного аппарата, при расходе $Q_H + Q_2$ , $\frac{V_{1H}^2}{2g}$                                       | м                 | $\frac{V_{1H}^2}{2g} = \frac{4,132^2}{19,62}$                                   | [103] | 0,87  |
| 14 | Расчётный напор струйного аппарата (величина увеличения кавитационного запаса)   | м                 | $H_{г.пр} = \bar{H}_r \cdot \frac{V_0^2}{2g}$<br>$= 0,20 \cdot 46,45$           | [103] | 9,29  |

Рассчитанное значение напора струйного аппарата, увеличивающее потенциальную энергию во всасывающем трубопроводе, на полную энергию в напорных трубопроводах также не оказывает влияния и в дальнейших расчётах не используется.

## Выводы по главе

1. На основе проведённых теоретических исследований предложен порядок расчёта величины полной энергии в напорных трубопроводах основных и дополнительных насосных агрегатах.

2. Из всех вариантов эксплуатации основных насосов наиболее значимое значение полной энергии в напорном трубопроводе наблюдается в варианте с двумя насосными агрегатами на один трубопровод и максимальным значением полной энергии 86,34 м, при этом расчётное значение полной энергии в напорном распределительном трубопроводе бустерного насоса составляет 108,60 м.

3. При наличии полученной разницы полных энергий основного и бустерного насосов рассчитана возможность определения силы противодействия на обратный клапан – 22,26 м.

4. При наличии линии рециркуляции, повышающей кавитационный запас, установлено, что значение кинетической энергии во всасывающем трубопроводе практически не изменяется при явном увеличении потенциальной энергии до значения напора струйного аппарата 9,29 м.

5. Установка струйных аппаратов на всасывающей линии и линии рециркуляции, повышающих высоту всасывания насосного оборудования, не оказывает влияния на полную энергию в напорном трубопроводе и при расчётах нет необходимости в её учёте.



### 3 НАТУРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на действующей насосной станции «Междуречье» Изобильненского филиала «Управление «Ставропольмелиоводхоза» (рисунки 3.1-3.4) с целью возможности пуска и остановки основных насосных агрегатов без использования дополнительных традиционных устройств – гасителей гидравлических ударов, описанных в разделе 1.

Схема водозаборного сооружения и установленного гидромеханического оборудования в насосной станции показана на рисунке 3.4.

Схема установки дополнительного оборудования для проведения исследований приведена на рисунках 3.5, 3.6.

Предлагаемая исследуемая технология эксплуатации насосной станции с возможностью гашения гидравлического удара заключается в следующем: (см. рисунок 3.5) перед пуском основного центробежного насоса 1 в начале сезона пускается дополнительный насос 5 с закрытой задвижкой 6 и закрытой задвижкой 3 сети, открывается задвижка 6 и автоматически открывается обратный клапан 7 на напорном трубопроводе 9 дополнительного насоса 5. При полностью заполненном напорном трубопроводе 2, что засвидетельствует манометр 8, включается основной центробежный насос 1, отключается дополнительный насос 5, открывается задвижка 3. Перед остановкой основного центробежного насоса 1 включается дополнительный насос 5 и с увеличенным давлением в напорном трубопроводе 2 закрывается обратный клапан 4, предотвращая обратный ток воды в напорном трубопроводе 2 и явление гидроудара, основной центробежный насос 1 останавливается при открытой задвижке сети 3, останавливается дополнительный насос 5, автоматически закрывается обратный клапан 7 и обратный клапан 4. При понижении давления в сети включается автоматически дополнительный насос 5, исключая сброс воды из напорного трубопровода 2. При последующих пусках основного центробежного насоса 1 процесс повторяется без использования задвижки 3 и предотвращения обратного тока воды в напорном

трубопроводе 2, а следовательно, и гидравлического удара в напорном трубопроводе 2 сети.

Предварительными исследованиями, для возможности использования бустерного насоса в качестве дополнительного насосного агрегата при гашении гидравлического удара, экспериментально определялась фактическая величина полной энергии в трубопроводах при различных эксплуатационных вариантах сети.



Рисунок 3.1 – Общий вид машинного зала насосной станции «Междуречье»



Рисунок 3.2 – Внутренний вид обвязки бустерного агрегата, установленного на насосной станции «Междуречье»

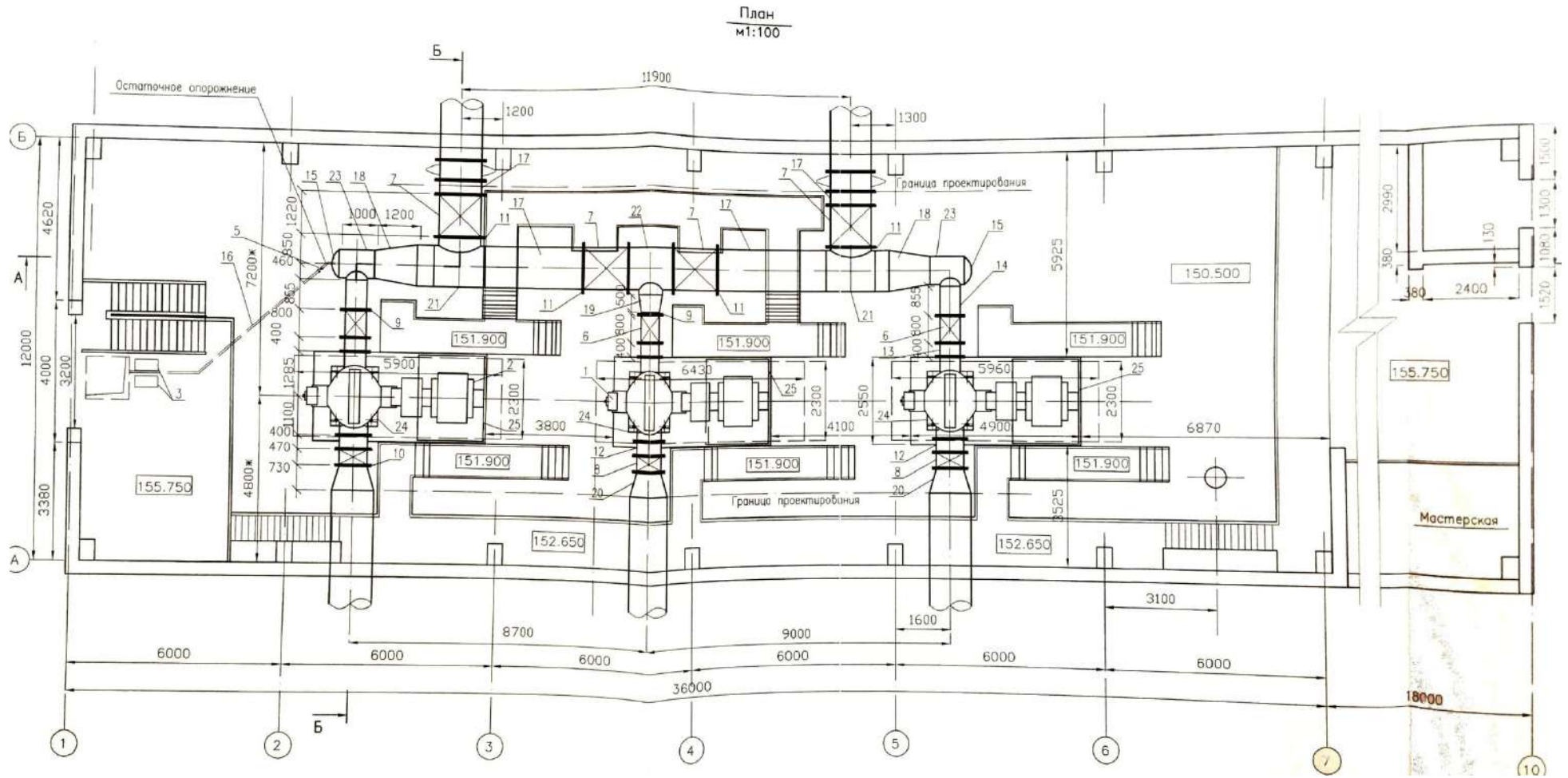


Рисунок 3.3 – Схема установки оборудования на исследуемой насосной станции

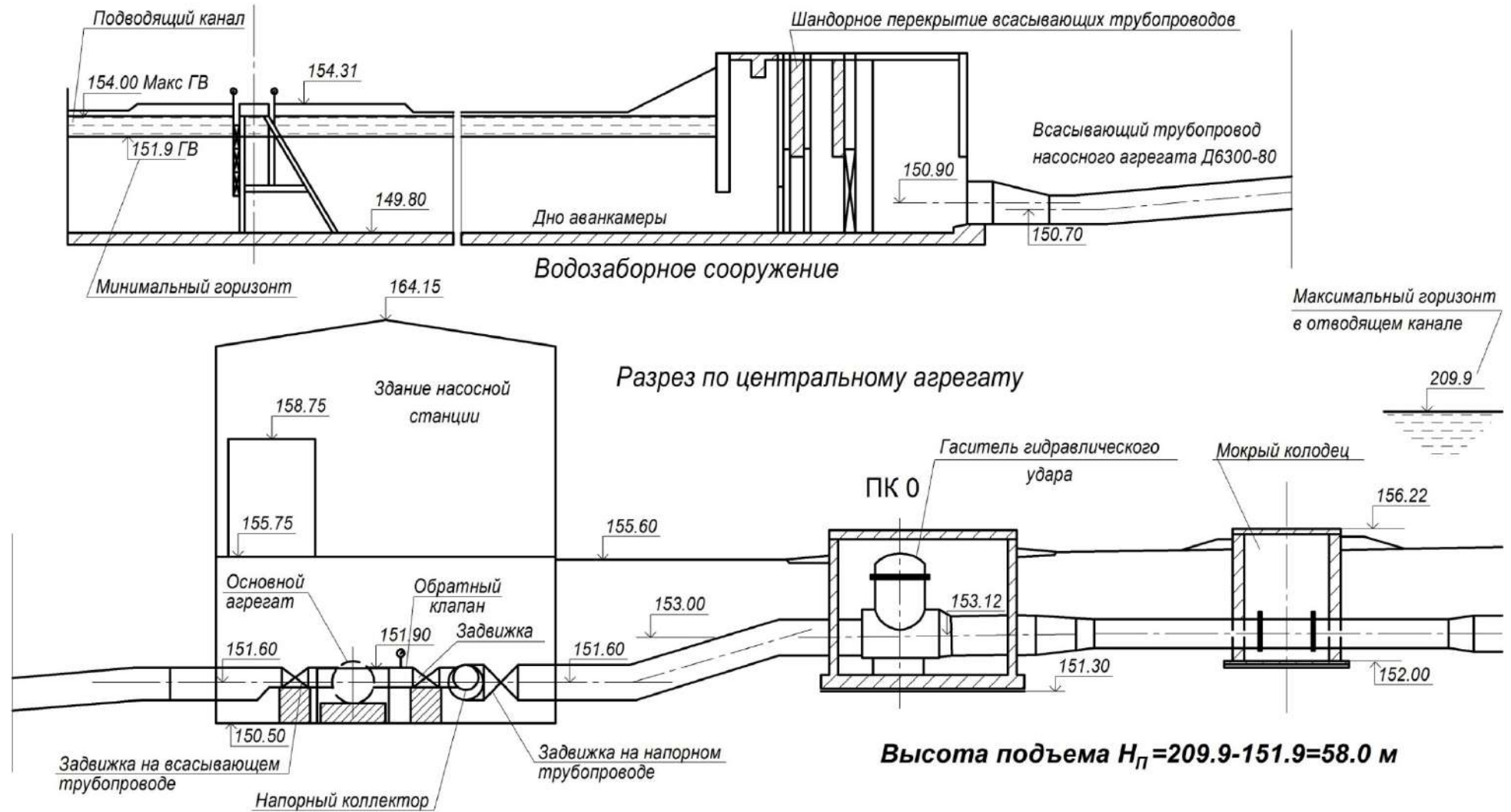


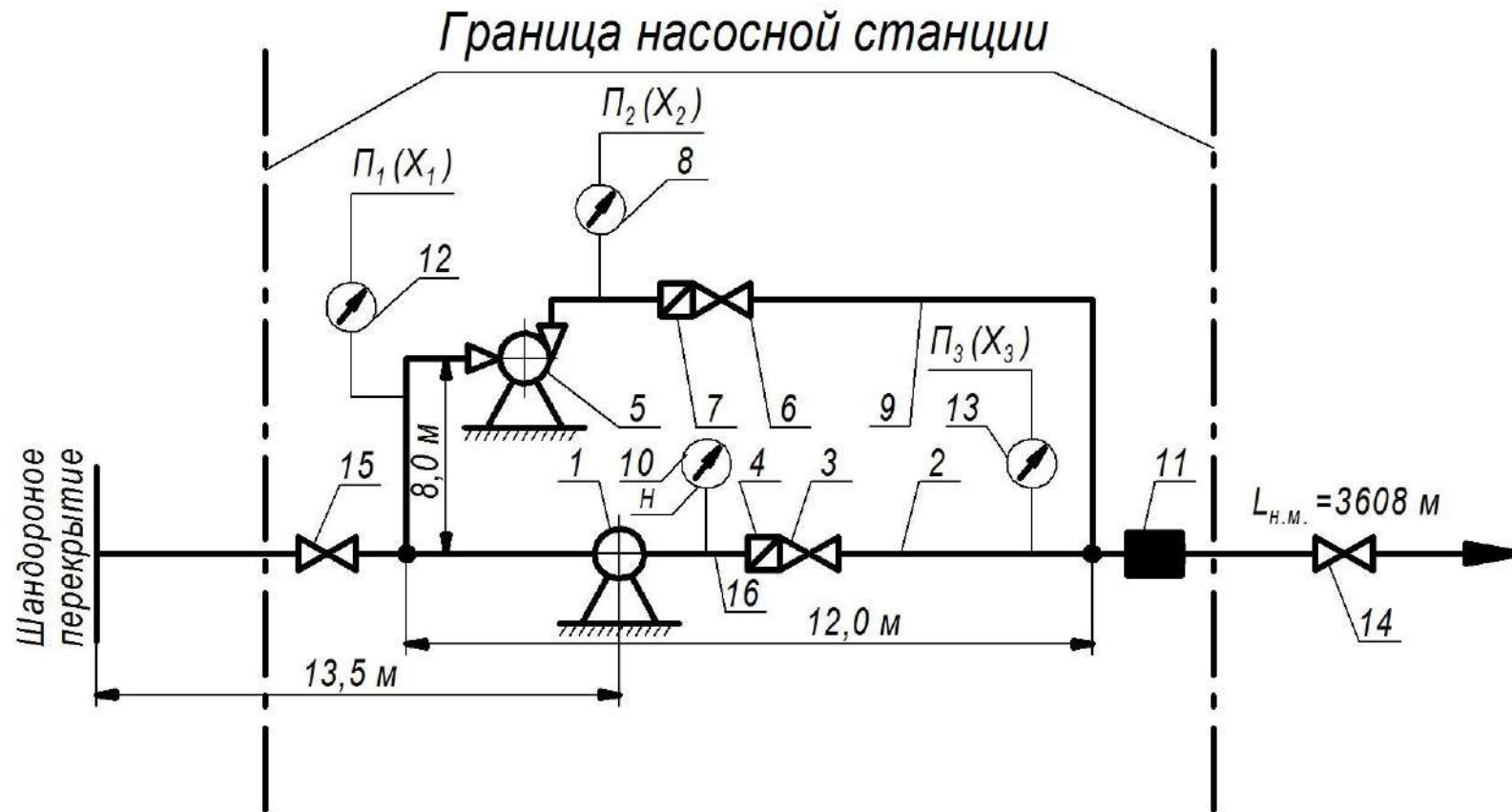
Рисунок 3.4 – Схема водозаборного сооружения и установленного гидромеханического оборудования в исследуемой насосной станции





1 – основные насосные агрегаты; 2 – задвижки на напорных распределительных трубопроводах; 3 – задвижки на всасывающих трубопроводах; 4 – монтажные вставки; 5 – обратные клапаны на напорных распределительных трубопроводах; 6 – обратный клапан бустерного насоса; 7 – задвижка бустерного насоса; 8 – бустерный насос; 9 – задвижки на напорных магистральных трубопроводах; 10 – дренажный приямок; 11 – всасывающие трубопроводы  $D_y = 1200$  мм; 12 – всасывающий трубопровод бустерного насоса  $D_y = 100$ ; 13 – напорный трубопровод бустерного насоса; 14 – напорные распределительные трубопроводы основных насосов; 15 – распределительный коллектор

Рисунок 3.5 – Технологическая схема установки основного оборудования и бустерного насоса



- 1 – основной насосный агрегат Д 6300-80; 2 – напорный распределительный трубопровод  $D_y = 600$  мм;  
 3, 14, 15 – задвижки  $D_y = 600$  мм (марка 30ч906бр); 4 – обратный клапан; 5 – бустерный насос (К 90 / 85);  
 6 – задвижка  $D_y = 100$  мм (30ч6бр); 7 – обратный клапан; 8, 10, 13 – манометры; 9 – напорный трубопровод  
 бустерного насоса; 11 – расходомер; 12 – вакуумметр

Рисунок 3.6 – Схема установки бустерного насоса для предотвращения гидравлического удара и поддержания постоянного давления в сети

В задачи исследования входило:

- 1) опытное определение полной энергии в напорном магистральном и всасывающем трубопроводах при работе бустерного насоса;
- 2) расчёт фактических напоров в сети при работе бустерного насоса;
- 3) опытное определение полной энергии в напорном магистральном и всасывающем трубопроводах при работе с двумя основными насосными агрегатами на один трубопровод;
- 4) расчёт фактических напоров в сети при работе основного насосного агрегата;
- 5) фактический коэффициент гидравлического сопротивления напорных трубопроводов.

### **3.1 Методика проведения исследований, измеряемые и определяемые величины**

При проведении исследований по п. 1 для всасывающего трубопровода определяли:

- расход по фактическому расходу  $Q_{16.}$ , определённого в напорном трубопроводе объёмным способом при разной степени открытия задвижки;

- фактическая потенциальная  $\frac{B_{16.}}{g\rho_0}$ , кинетическая  $\frac{V_{16.}^2}{2g}$  и полная энергии по показаниям вакуумметра 12 (см. рисунок 3.7) при разности отметок водозаборного сооружения 153,03 и оси насоса 151,90

$$H_{г.вс.} = 153,03 - 151,9 = 1,13 \text{ (м)}, \quad \mathcal{E}_1 = \frac{B_{16.}}{g\rho_0};$$

- кинетическая энергия по скоростному напору во всасывающем трубопроводе  $\frac{V_{16.}^2}{2g}$  и полная энергия  $\mathcal{E}_1 = \frac{B_{вс.б.}}{g\rho_0} + \frac{V_{16.}^2}{2g}$ .

Расчётные данные сведены в таблицу 3.1.



Рисунок 3.7 – Опытное определение величины вакуума на всасывающем трубопроводе бустерного насоса

Таблица 3.1 – Фактические значения величины потенциальной  $\frac{p_{б.вс.}}{g\rho_0}$ , кинетической  $\frac{V_{б.вс.}^2}{2g}$  и полной энергии  $\mathcal{E}_1 = \frac{p_{б.вс.}}{g\rho_0} + \frac{V_{б.вс.}^2}{2g}$  во всасывающем трубопроводе бустерного насоса  $D_y = 100\text{мм}$  (88 мм – внутренний диаметр)

| Степень открытия задвижки | Фактический расход $Q_{1б.}$ , м <sup>3</sup> /с | Фактическая кинетическая энергия $\frac{V_{1б.}^2}{2g}$ , м | Потери напора во всасывающем трубопроводе | Показания вакуумметра, $\frac{V_{1б.}}{g\rho_0}$ , м | Полная энергия $\mathcal{E}_1$ , м |
|---------------------------|--|---|---|--|------------------------------------|
| 0,25                      | 0,016  | 0,32  | 0,51                                      | -1,60  | -1,92                              |
| 0,50                      | 0,020  | 0,56  | 0,89                                      | -2,02  | -2,58                              |
| 1,75                      | 0,022  | 0,68  | 1,08                                      | -2,21  | -2,89                              |
| 1,00                      | 0,025  | 0,88  | 1,40                                      | -2,50  | -3,38                              |

При проведении исследований по п. 2 для напорного трубопровода, измерялись:



- фактический расход  $Q_6$  и скорость потока  $V_6$  в напорном трубопроводе насоса по времени наполнения  $Q_6 = \frac{W_{н.тр.}}{t_{нап.}}$  ( $W_{н.тр.}$  – объём напорного трубопровода (расчётный),  $t_{нап.}$  – время наполнения напорного трубопровода;

- фактическая потенциальная и кинетическая энергия в напорном трубопроводе по показаниям манометра 8 и по скорости движения потока  $V_6$  в напорном трубопроводе 2 для четырёх степеней открытия задвижки 6 (рисунок 3.6, 3.8), рассчитывались потери напора и полная энергия по зависимостям:



Рисунок 3.8 – Манометр для определения потенциальной энергии бустерного насоса в напорном трубопроводе

- потери напора  $hw_6 = \lambda \frac{L}{D_H} \frac{V_6^2}{2g}$  ( $\lambda$  – принималась 0,02 [111], длина  $L = 3608$  м,  $D_H = 1,12$  м);

- потенциальная энергия  $\mathcal{E}_6 = hw_6 + H_r$ ,  $H_r$  – геометрическая высота подъёма,  $H_r = 58,0$  м;

- полная энергия  $\mathcal{E}_{п.б.} = \mathcal{E}_6 + \frac{V_6^2}{2g}$ .

Расчётные данные сведены в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Фактические значения величин потенциальной  $\frac{P_6}{g\rho}$ , кинетической  $\frac{v_6^2}{2g}$  и полной энергии для напорного трубопровода бустерного насоса (коэффициент « $\lambda$ » принимается 0,02, длина трубопровода 3608 м)

| Степень открытия задвижки | Подача, м <sup>3</sup> /с | Полная энергия во всасывающем трубопроводе $\mathcal{E}_{16.}$ , м | Полная энергия в напорном трубопроводе $\mathcal{E}_{26.}$ , м | Напор бустерного насоса, $H_6 = \mathcal{E}_{26.} - \mathcal{E}_{16.}$ , м |
|---------------------------|---------------------------|--|--|--|
| 0,25                      | 0,020                     | -1,92  | <b>94,98</b>   | 96,90  |
| 0,50                      | 0,028                     | -2,58  | 95,36  | 97,94  |
| 0,75                      | 0,030                     | -2,89  | 102,18   | 105,07   |
| 1,00                      | 0,033                     | -3,38  | <b>106,40</b>  | <b>109,78</b>  |

### 3.2 Опытное определение величины потенциальной энергии перед обратным клапаном бустерного насоса

При проведении исследований проведен анализ таблиц 3.1, 3.2 для бустерного насоса, по которому определены величины энергий для всасывающего  $\mathcal{E}_1$  и напорного трубопровода  $\mathcal{E}_2$  и фактический полный экспериментальный напор бустерного насоса  $H_6$ .

Данные по полученным величинам напора бустерного насоса сведены в таблицу 3.3.

Анализ таблицы 3.3 показал возможную величину полной энергии от 94,98 до 106,4 м и полного напора бустерного насоса  $H_6$  в зависимости от степени открытия задвижки на напорном трубопроводе от 96,90 до 109,78 м.

Таблица 3.3 – Экспериментальная величина полной энергии и напора бустерного насоса

| Степень открытия задвижки | Подача, м <sup>3</sup> /с | Полная энергия во всасывающем трубопроводе $\mathcal{E}_{1б.}$ , м | Полная энергия в напорном трубопроводе $\mathcal{E}_{2б.}$ , м | Напор бустерного насоса, $H_b = \mathcal{E}_{2б.} - \mathcal{E}_{1б.}$ , м |
|---------------------------|---------------------------|--|--|--|
| 0,25                      | 0,016                     | -1,92  | 94,98  | 96,90  |
| 0,50                      | 0,020                     | -2,58  | 95,36  | 97,94  |
| 0,75                      | 0,022                     | -2,89  | 102,18   | 105,07   |
| 1,00                      | 0,025                     | -3,38  | 106,40   | 109,78   |

По рисунку 3.9 на основании построенной кривой потерь напора в трубопроводе в зависимости от подачи  $h_{w_6} = f(Q_6)$  определена возможная фактическая подача  $Q_6 = 0,37$  м<sup>3</sup>/с и возможный напор в сети для подачи 0,37 м<sup>3</sup>/с  $H_6 = 75$  м. Для напора 109,78 м фактическая подача составляет 0,018 м<sup>3</sup>/с.

При проведении исследований по п. 3 с основным насосным агрегатом Д 6300-80 измерялись:

- фактический расход  $Q_0$  и скорость потока в напорном трубопроводе  $V_0$  по показаниям расходомера (рисунок 3.10);

- фактическая потенциальная и кинетическая энергия в напорном трубопроводе по показаниям манометра 10 и по скорости движения потока в напорном трубопроводе 2 для четырёх степеней открытия задвижки 3, рассчитывались потери напора и полная энергия по зависимостям;

- потери напора  $hw_0 = \lambda \frac{L}{D_H} \frac{V_0^2}{2g}$  ( $\lambda$  – принимается 0,02,  $L = 3608$  м,  $D_H = 1,12$  м);

- потенциальная энергия  $\mathcal{E}_0 = hw_6 + H_r$ ,  $H_r$  – геометрическая высота подъёма 58,0 м;

- полная энергия  $\mathcal{E}_{п.0} = \mathcal{E}_0 + \frac{V_0^2}{2g}$ .

Расчетные данные сведены в таблицу 3.4.

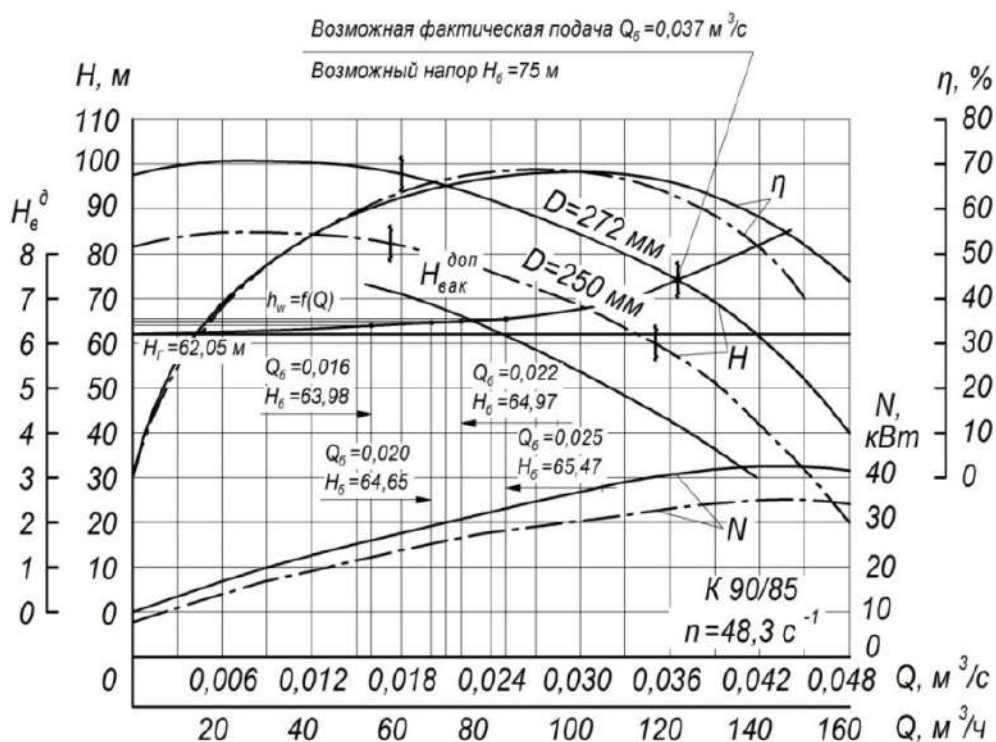


Рисунок 3.9 – Характеристика бустерного насоса К 90 / 85 (напорно-расходная  $H_6 = f(Q_6)$ ; КПД –  $\eta_6 = f(Q_6)$ ; допустимой вакуумметрической высоты всасывания  $H_{\text{доп.б}}^{\text{вак}} = f(Q_6)$  и потребляемой мощности  $N_6 = f(Q_6)$ )



Рисунок 3.10 – Электромагнитный расходомер для определения расхода в напорном магистральном трубопроводе (EUROMAG MUT2500EL)

Таблица 3.4 – Фактические значения величин потенциальной  $\frac{p_0}{g\rho}$ , кинетической  $\frac{V_0^2}{2g}$  и полной энергии основных насосов

| Степень открытия задвижки 3 (см. рис. 3.6)       | Фактические показания манометра $M_0$ , м | Подача, $M^3/c$ | Скорость в трубопроводе $V_0$ , ( $\omega_{тр} = 0,98 \text{ м}^2$ ), м/с | Скоростной напор (кинетическая энергия), $\frac{V_0^2}{2g}$ , м | Потери напора фактические $M_0 - H_{г}$ , м | Потери напора $hw_0 = \lambda \frac{L_H V_0^2}{D_H 2g}$ , м (расчетные) | Потенциальная энергия $\frac{p_0}{g\rho_0}$ , м | Полная энергия в напорном трубопроводе $\Xi_2$ , $\frac{p_0}{g\rho_0} + \frac{V_0^2}{2g}$ , м | Коэффициент сопротивления $\lambda = M_0 / L / D \frac{V^2}{2g}$ (фактический) |
|--|---|-----------------|---|---|---|---|---|---|--|
| при работе одного агрегата на один трубопровод   |   |                 |   |   |   |   |   |   |  |
| 0,25   | 62,05                                     | 0,30            | 0,30  | 0,0047  | 2,85  | 0,3   | 62,35   | 62,35   | 0,36   |
| 0,50   | 66,10                                     | 0,69            | 0,70  | 0,02  | 4,05  | 1,28  | 63,33   | 63,35   | 0,109  |
| 0,75   | 68,1                                      | 0,99            | 1,01  | 0,05  | 4,00  | 3,22  | 64,1  | 64,15   | 0,025  |
| 1,00   | 69,2                                      | 1,36            | 1,38  | 0,09  | 7,15  | 5,79  | 68,29   | 68,38   | 0,028  |
| при работе 2-х агрегатов на один трубопровод     |   |                 |   |   |   |   |   |   |  |
| 0,25   | 63,55                                     | 0,60            | 0,61  | 0,22  | 1,50  | 1,22  | 63,55   | 63,57   | 0,41   |
| 0,50   | 67,05                                     | 1,70            | 1,73  | 0,15  | 5,00  | 5,68  | 67,05   | 67,20   | 0,12   |
| 0,75   | 80,25                                     | 2,60            | 2,65  | 0,36  | 18,20                                       | 23,05   | 79,89   | 80,25   | 0,034  |
| 1,00   | 97,05                                     | 3,47            | 3,54  | 0,64  | 35,02                                       | 41,14   | 87,05   | 87,69   | 0,020  |
| при работе 2-х агрегатов на полтора трубопровода |   |                 |   |   |   |   |   |   |  |
| 0,25   | 63,25                                     | 0,44            | 0,44  | 0,009   | 1,20  | 0,63  | 63,25   | 63,25   | 0,30   |
| 0,50   | 66,87                                     | 1,27            | 1,29  | 0,08  | 4,82  | 5,46  | 66,87   | 66,95   | 0,10   |
| 0,75   | 72,25                                     | 1,95            | 1,98  | 0,19  | 10,20                                       | 12,87   | 72,25   | 72,44   | 0,04   |
| 1,00   | 81,91                                     | 2,60            | 2,72  | 0,37  | 19,86                                       | 24,29   | 81,91   | 82,28   | 0,02   |

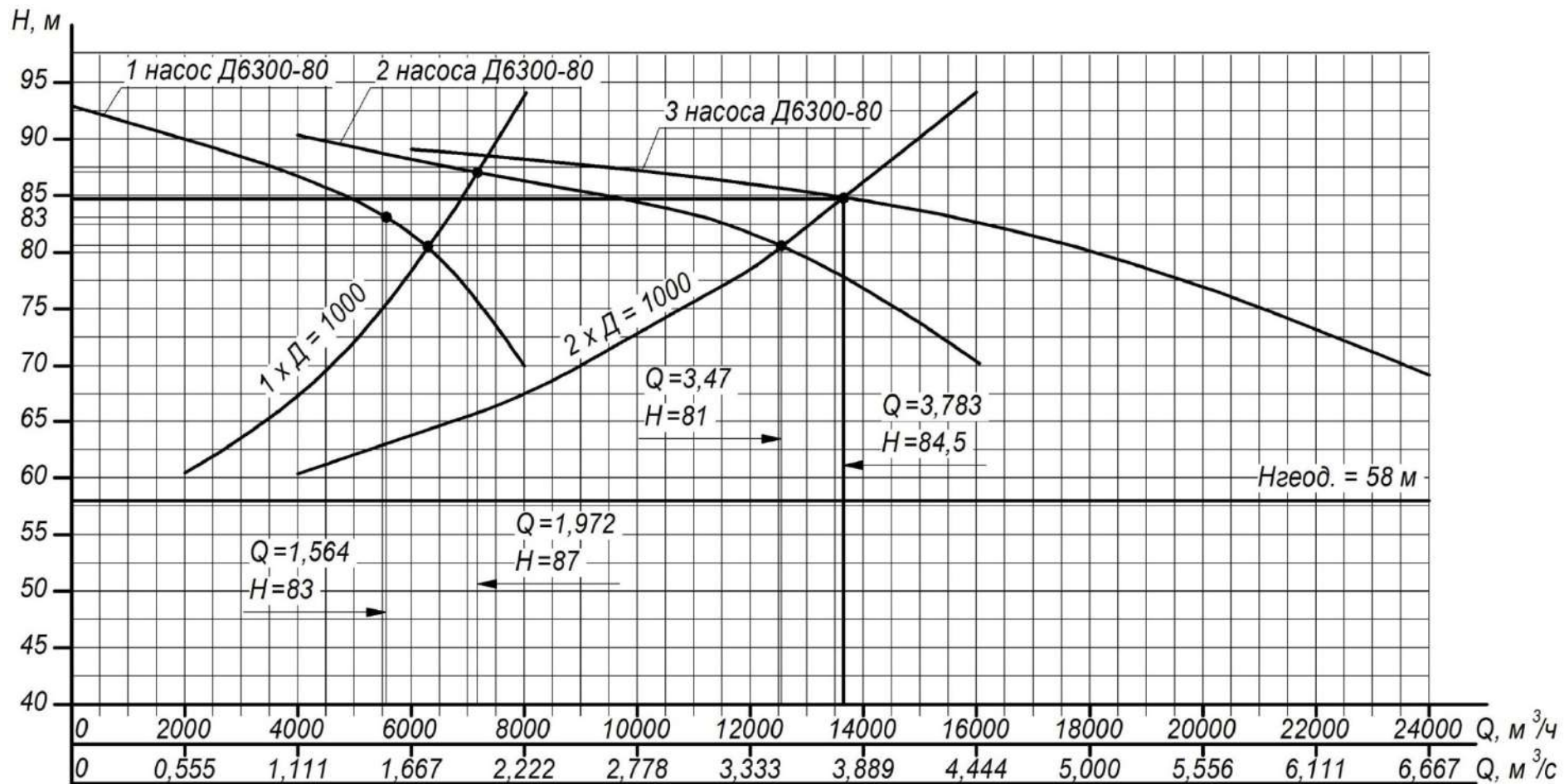


Рисунок 3.11 – Характеристика основного насоса Д 6300-80 (напорно-расходный  $H_0 = f(Q_0)$ , КПД –  $\eta_0 = f(Q_0)$ , допустимой вакуумметрической высоты всасывания  $H_{\text{доп}}^{\text{вак}} = f(Q_0)$  и потребляемой мощности  $N_0 = f(Q_0)$ )

Анализ таблицы 3.4 показывает, что по фактическим показаниям манометров потери напора зависят в основном от скорости движения в напорном трубопроводе, что естественно объясняется законами гидравлики, и в данном исследуемом случае для стального трубопровода с внутренним диаметром 1,12 м при дальности транспортировки воды 3608 м и расходах, колеблющихся от 0,30 до 1,36 м<sup>3</sup>/с, потери напора находятся в пределах 0,3-5,79 м, при этом фактический коэффициент сопротивления  $\lambda$  находится в пределах 0,03-0,028.

Полная потенциальная энергия в напорном трубопроводе находится в пределах от 62,35 до 68,29 м, при фактических потерях напора от 2,85 до 7,15 м. Суммарная полная энергия в напорном трубопроводе определится по зависимости

$$\mathcal{E}_2 = \frac{p_0}{g\rho_0} + \frac{V_0^2}{2g} \text{ и находится в пределах от 62,35 до 68,29 м.}$$

По данным таблицы 3.4 и рисунка 3.11 определяются гидравлические фактические параметры основного насосного агрегата, напоры  $H_0$  и  $H_6$ ; подачи  $Q_0$  и  $Q_6$ , допустимая геометрическая высота всасывания ( $H_{\text{доп},0}^{\text{вак}}$  и  $H_{\text{доп},6}^{\text{вак}}$ ), фактическая потребляемая мощность двигателей  $N_{\text{ф},0}$  и  $N_{\text{ф},6}$ , КПД –  $\eta_{\text{ф},0}$  и  $\eta_{\text{ф},6}$  (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Экспериментальная величина полной энергии и напора основных агрегатов

| Степень открытия задвижки   | Подача, м <sup>3</sup> /с | Полная энергия во всасывающем трубопроводе $\mathcal{E}_1$ , м | Полная энергия в напорном трубопроводе $\mathcal{E}_2$ , м | Напор основного насоса $H_0 = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1$ , м |
|---|---------------------------|--|--|--|
| 1   | 2                         | 3  | 4  | 5  |
| Принята по результатам испытаний при работе 1-го насосного агрегата на один трубопровод |                           |  |  |  |
| 0,25  | 0,44                      | -2,00  | 63,25  | 65,25  |
| 0,50  | 1,27                      | -3,50  | 66,95  | 70,45  |
| 0,75  | 1,95                      | -3,68  | 72,04  | 75,72  |
| 1,00  | 2,60                      | -4,00  | 82,28  | 86,28  |

Продолжение таблицы 3.5

| 1  | 2    | 3     | 4     | 5     |
|--|------|-------|-------|-------|
| Принята по результатам испытаний для наиболее сложных условий эксплуатации (при работе 2-х насосных агрегатов на один трубопровод) |      |       |       |       |
| 0,25   | 0,60 | -1,92 | 63,57 | 65,49 |
| 0,50   | 1,70 | -2,58 | 67,20 | 69,78 |
| 0,75   | 2,60 | -2,89 | 80,61 | 83,50 |
| 1,00   | 3,47 | -3,38 | 87,69 | 91,07 |

По таблице 3.4 видно, что величина полной энергии основных насосных агрегатов колеблется в зависимости от количества включённых насосов на один напорный трубопровод от 63,57 м (наиболее удобные условия для включения бустерного насоса) до 97,69 м (предельно возможные условия для предотвращения обратного тока в напорном трубопроводе – максимальный напор, по рисунку 3.9 – 100 м). Таким образом, при выборе гидравлических параметров дополнительного насоса необходимо провести расчёт возможной полной энергии, создаваемой основными агрегатами в напорном магистральном трубопроводе и далее, с учётом полученных величин, определить необходимые значения напора и расхода дополнительного насосного оборудования [131].

### **3.3 Опытное определение величины потенциальной энергии перед обратным клапаном основного насосного агрегата**

Определение проводилось в зависимости от гидравлических параметров в напорном магистральном, напорном дополнительном и всасывающих трубопроводах основного и дополнительного насосов.



Исследования проводились с использованием теории планирования эксперимента [30], в качестве факторов принимались:

$P_1(X_1)$  – потенциальная энергия во всасывающих трубопроводах основного и дополнительного насосов, определяемая по вакуумметру 12 и регулируемая задвижкой 15 (см. рисунок 3.6);

$P_2(X_2)$  – потенциальная энергия в напорном трубопроводе 9, дополнительного насоса, определяемая манометром 8 и регулируемая задвижкой 6;

$P_3(X_3)$  – потенциальная энергия в напорном трубопроводе основного насоса 2, определяемая манометром 13 и регулируемая задвижкой 14.

В качестве критерия  $H$  принималась полная потенциальная энергия в трубопроводе 16, определяемая манометром 10. Исследования проведены в два этапа:

- первый для определения степени влияния каждого из исследуемых факторов на величину критерия оптимизации  $H$ ;

- второй для определения степени влияния оптимальных значений наиболее значимых факторов на величину  $H$  и максимальной полной потенциальной энергии перед обратным клапаном 4 (см. рисунок 3.6).

Величины фактических и кодированных параметров для трёх факторного плана, принятых по таблицам 3.3, 3.4, показаны в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Значения фактических и кодированных факторов для первой группы

| Факторы   | Код   | Интервалы, м | Уровень           |                |                 |
|-----------|-------|--------------|-------------------|----------------|-----------------|
|           |       |              | Средний<br>«0», м | Нижний<br>-, м | Верхний<br>+, м |
| $P_1$ , м | $X_1$ | -1,0         | -2,0              | -1,0           | -3,0            |
| $P_2$ , м | $X_2$ | 10,0         | 70,0              | 60,0           | 80,0            |
| $P_3$ , м | $X_3$ | 10,0         | 60,0              | 50,0           | 70,0            |

Таблица 3.7 – Матрица планирования и результаты исследований по первой группе опытов

| № опыта | Потенциальная энергия               |                                     |                                     | Величины факторов                  |                                    |                                    | Критерий Н, м |
|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------|
|         | П <sub>1</sub> (X <sub>1</sub> ), м | П <sub>2</sub> (X <sub>2</sub> ), м | П <sub>3</sub> (X <sub>3</sub> ), м | П <sub>1</sub> (X <sub>1</sub> ) м | П <sub>2</sub> (X <sub>2</sub> ) м | П <sub>3</sub> (X <sub>3</sub> ) м |               |
| 1       | +                                   | +                                   | +                                   | -3,0                               | 80,0                               | 70,0                               | 85,6          |
| 2       | +                                   | -                                   | -                                   | -3,0                               | 60,0                               | 50,0                               | 84,3          |
| 3       | -                                   | +                                   | +                                   | -1,0                               | 80,0                               | 70,0                               | 88,0          |
| 4       | -                                   | -                                   | -                                   | -1,0                               | 60,0                               | 50,0                               | 84,2          |
| 5       | +                                   | 0                                   | 0                                   | -3,0                               | 70,0                               | 60,0                               | 85,0          |
| 6       | +                                   | 0                                   | 0                                   | -3,0                               | 70,0                               | 60,0                               | 85,0          |
| 7       | -                                   | 0                                   | 0                                   | -1,0                               | 70,0                               | 60,0                               | 84,9          |
| 8       | -                                   | 0                                   | 0                                   | -1,0                               | 70,0                               | 60,0                               | 86,5          |
| 9       | 0                                   | +                                   | +                                   | -2,0                               | 80,0                               | 70,0                               | 88,0          |
| 10      | 0                                   | +                                   | +                                   | -2,0                               | 80,0                               | 70,0                               | 87,0          |
| 11      | 0                                   | -                                   | -                                   | -2,0                               | 60,0                               | 50,0                               | 64,2          |
| 12      | 0                                   | -                                   | -                                   | -2,0                               | 60,0                               | 50,0                               | 65,0          |
| 13      | 0                                   | 0                                   | 0                                   | -2,0                               | 70,0                               | 60,0                               | 80,4          |
| 14      | 0                                   | 0                                   | 0                                   | -2,0                               | 70,0                               | 60,0                               | 81,0          |
| 15      | 0                                   | 0                                   | 0                                   | -2,0                               | 70,0                               | 60,0                               | 82,2          |
| 16      | 0                                   | 0                                   | 0                                   | -2,0                               | 70,0                               | 60,0                               | 82,2          |

Данные таблицы 3.7, обработанные методами [3, 30], позволил получить уравнение регрессии вида:

$$H = b_0 \pm b_1x_1 \pm b_2x_2 \pm b_3x_3 (\dots), \quad (3.1)$$

где  $b_0 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} H_n}{N}$  – свободный член; (3.2)

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} X_{in} H_n}{N} - \text{коэффициент фактора}; \quad (3.3)$$

$N$  – число опытов по плану,

$X_{in}$  – значение  $i$ -го фактора в опыте.

Подстановки вычисленных коэффициентов  $b_0$  и  $b_i$  в уравнение (3.1) позволило составить зависимость (3.4), по которой построена ранжировочная кривая степени влияния факторов на значение  $H$  (рисунок 3.12)

$$H = 90,8 + 19,1X_1 - 30,2X_2 - 44,1X_3. \quad (3.4)$$

По рисунку 3.12 видно, что наибольшее влияние на потенциальную энергию  $H$  оказывает энергия в напорном трубопроводе бустерного насоса  $\Pi_2 = 87\%$ , степень влияния энергии в напорном распределительном трубопроводе основного насоса составляет  $58\%$  и менее значимую степень влияния  $8\%$  оказывает энергия во всасывающих трубопроводах основного и бустерного насосов. Исходя из вышеизложенного, проведена вторая группа опытов с двумя факторами  $X_2$  и  $X_3$ . Значения факторов показаны в таблице 3.8.

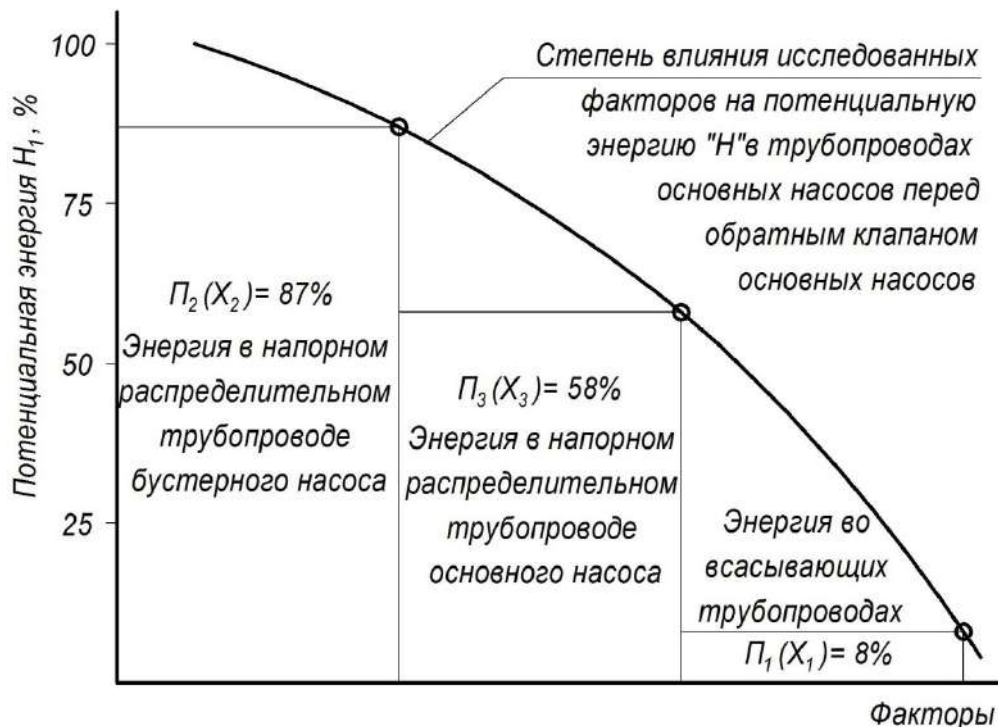


Рисунок 3.12 – Кривая зависимости степени влияния исследованных факторов на потенциальную энергию в напорном трубопроводе основного агрегата перед обратным клапаном

Таблица 3.8 – Кодированные и фактические параметры для второй группы опытов

| Факторы        | Код            | Интервалы, м | Уровень           |                |                 |
|----------------|----------------|--------------|-------------------|----------------|-----------------|
|                |                |              | Средний<br>«0», м | Нижний<br>–, м | Верхний<br>+, м |
| П <sub>2</sub> | X <sub>2</sub> | 10,0         | 80,0              | 70,0           | 90,0            |
| П <sub>3</sub> | X <sub>3</sub> | 10           | 70,0              | 60,0           | 80,0            |

Матрица планирования показана в таблице 3.9.

Обработка результатов проведения второй группы опытов позволила получить зависимость величины потенциальной энергии в напорном распределительном трубопроводе 16 перед обратным клапаном основного насоса от значений потенциальной энергии в напорном распределительном трубопроводе 9 бустерного насоса и напорном распределительном трубопроводе 2 основного насоса.

Таблица 3.9 – Матрица и результаты второй группы опытов

| № опыта | Энергия бустерного насоса, X <sub>2</sub> (П <sub>2</sub> ), м | Энергия основного насоса, X <sub>3</sub> (П <sub>3</sub> ), м | Значения факторов, м |                |  |
|---------|--|---|----------------------|----------------|--|
|         |  |   | П <sub>2</sub>       | П <sub>3</sub> | Энергия перед обратным клапаном основного насоса H |
| 1       | +  | +   | 90,0                 | 80,0           | 105,4  |
| 2       | –  | –   | 70,0                 | 60,0           | 40,1   |
| 3       | +  | –   | 90,0                 | 60,0           | 51,9   |
| 4       | –  | +   | 70,0                 | 80,0           | 66,9   |
| 5       | 0  | +   | 80,0                 | 80,0           | 40,5   |
| 6       | 0  | –   | 80,0                 | 60,0           | 88,2   |
| 7       | 0  | 0   | 80,0                 | 70,0           | 64,2   |
| 8       | –  | 0   | 70,0                 | 70,0           | 92,3   |
| 9       | +  | 0   | 90,0                 | 70,0           | 32,8   |

$$H = 64,2 - 15,9X_2 + 34,1X_3 + 12,2X_2^2 - 10,4X_3^2 - 15,1X_2X_3 \quad (3.5)$$

Используя уравнение (3.5), можно проводить расчёты величины потенциальной энергии  $H$  перед обратным клапаном основного насоса, в зависимости от величины потенциальной энергии  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$ . Расчётные данные сведены в таблицу 3.10. Кроме того, в таблицу 3.10 внесены расчётные значения полной энергии в напорных трубопроводах основного и бустерного насосов.

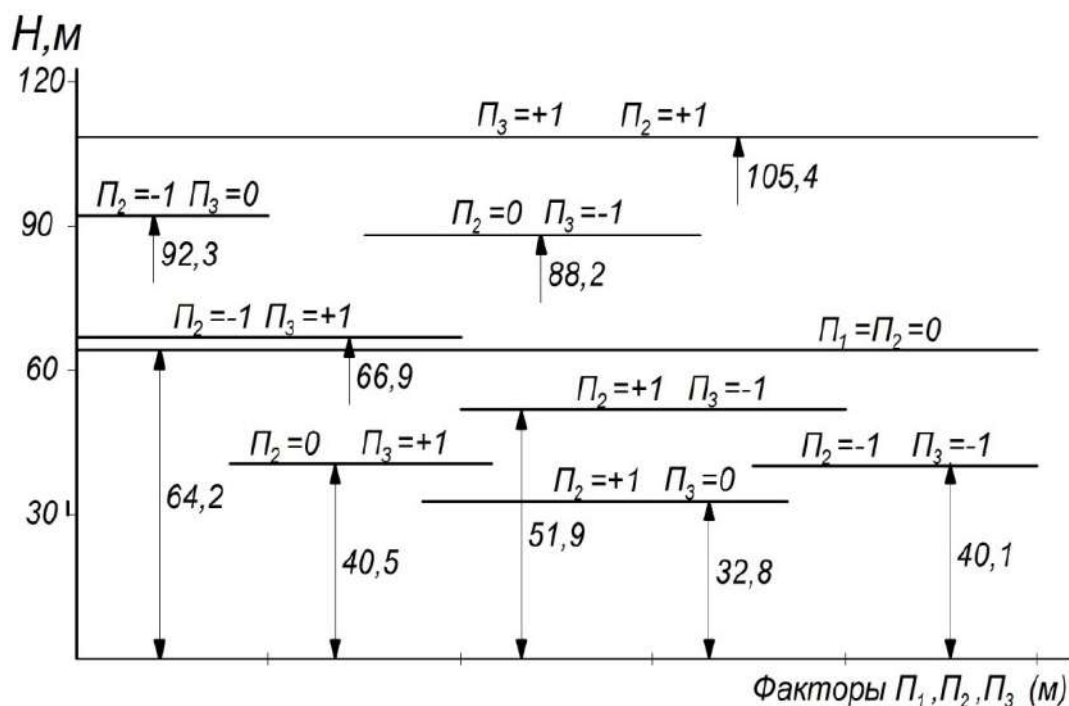


Рисунок 3.13 – Графическая зависимость потенциальной энергии перед обратным клапаном основного насоса  $H$  от величины потенциальной энергии в напорных трубопроводах бустерного  $\Pi_2$  и основного насоса  $\Pi_3$

По рисунку 3.13 видно, что наибольшее расчётное значение величины потенциальной энергии  $H = 105,4$ , получено при кодированных значениях  $\Pi_2 = +1$  и  $\Pi_3 = +1$ , что соответствует натуральным величинам энергии  $\Pi_2 = 90$  и  $\Pi_3 = 80$  м.

Таблица 3.10 – Зависимость потенциальной энергии в напорном распределительном трубопроводе основного насоса от энергии в распределительном трубопроводе бустерного насоса, рассчитанная по уравнению (3.5)

| № п/п опыта | П <sub>2</sub> ,<br>м | П <sub>3</sub> ,<br>м | Потенциальная энергия основного насоса, м | Подача насоса, м <sup>3</sup> /с |            | Скорость в трубопроводе, м/с |           | Скоростной напор, м                   |                               | Полная энергия Э <sub>2</sub> , м |
|-------------|-----------------------|-----------------------|---|----------------------------------|------------|------------------------------|-----------|---------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
|             |                       |                       |   | основного                        | бустерного | Ø 1,12 м                     | Ø 0,088 м | в трубопроводе дополнительного насоса | в дополнительном трубопроводе |                                   |
| 1           | (+)90,0               | (+)80,0               | 69,10                                     | 2,22                             | 0,030      | 2,26                         | 4,93      | 0,26                                  | 1,23                          | 70,33                             |
| 2           | (-)70,0               | (-)60,0               | 59,30                                     | 2,00                             | 0,042      | 1,98                         | 7,00      | 0,19                                  | 2,49                          | 61,79                             |
| 3           | +(90,0)               | (-)60,0               | 85,96                                     | 1,38                             | 0,042      | 1,24                         | 7,00      | 0,07                                  | 2,49                          | 58,45                             |
| 4           | -(70,0)               | +(80,0)               | 100,90                                    | 0,55                             | 0,030      | 0,50                         | 4,93      | 0,01                                  | 1,23                          | 102,13                            |
| 5           | 0(80,0)               | +(80,0)               | 85,00                                     | 1,38                             | 0,030      | 1,30                         | 4,93      | 0,08                                  | 1,23                          | 86,23                             |
| 6           | 0(80,0)               | -(60,0)               | 68,00                                     | 2,20                             | 0,042      | 2,10                         | 7,00      | 0,13                                  | 2,49                          | 70,49                             |
| 7           | 0(80,0)               | 0(70,0)               | 64,2                                      | 2,00                             | 0,035      | 1,95                         | 2,00      | 0,19                                  | 0,20                          | 64,4                              |
| 8           | 0(80,0)               | 0(70,0)               | 64,2                                      | 2,00                             | 0,035      | 1,95                         | 2,00      | 0,19                                  | 0,20                          | 64,4                              |

## Выводы по главе

1. Проведёнными экспериментальными исследованиями установлен предел возможной величины полной энергии в напорных трубопроводах 100-110 м для бустерных насосов.

2. Опытное определение величины полной энергии бустерного насоса  $\mathcal{E}_6 = 105,4$  м подтверждает возможность теоретического расчёта  $\mathcal{E}_{26} = 108,60$  м в пределах ошибки 2-3 % (см. разделы 2 и 3).

3. При подборе марки насоса, принимаемого в качестве бустерного, следует напор, независимо от подачи, завышать на 10-15 м по сравнению с напором основных насосов, для гарантированной возможности закрытия обратных клапанов на напорных трубопроводах перед остановкой основных насосов.

## **4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ПУСКА, ЭКСПЛУАТАЦИИ И ОСТАНОВКИ НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ ДВИЖЕНИЯ ВОДЫ**

Для предотвращения нестационарных режимов движения жидкости в напорных трубопроводах, как правило, приводящих к гидравлическому удару, данная технология предусматривает увеличение потенциальной энергии в напорных трубопроводах основных агрегатов и возможность перед остановкой приводного двигателя закрытия обратного клапана для исключения обратного движения потока вследствие остановки основных насосных агрегатов [119].

### **4.1 Технологический процесс пуска, эксплуатации и остановки основных насосных агрегатов**

Технологический процесс пуска, эксплуатации и остановки основных насосных агрегатов предусматривает четыре режима:

Первый – пуск основного оборудования в начале сезона на свободный трубопровод, осуществляется в следующей последовательности (рисунок 4.1):

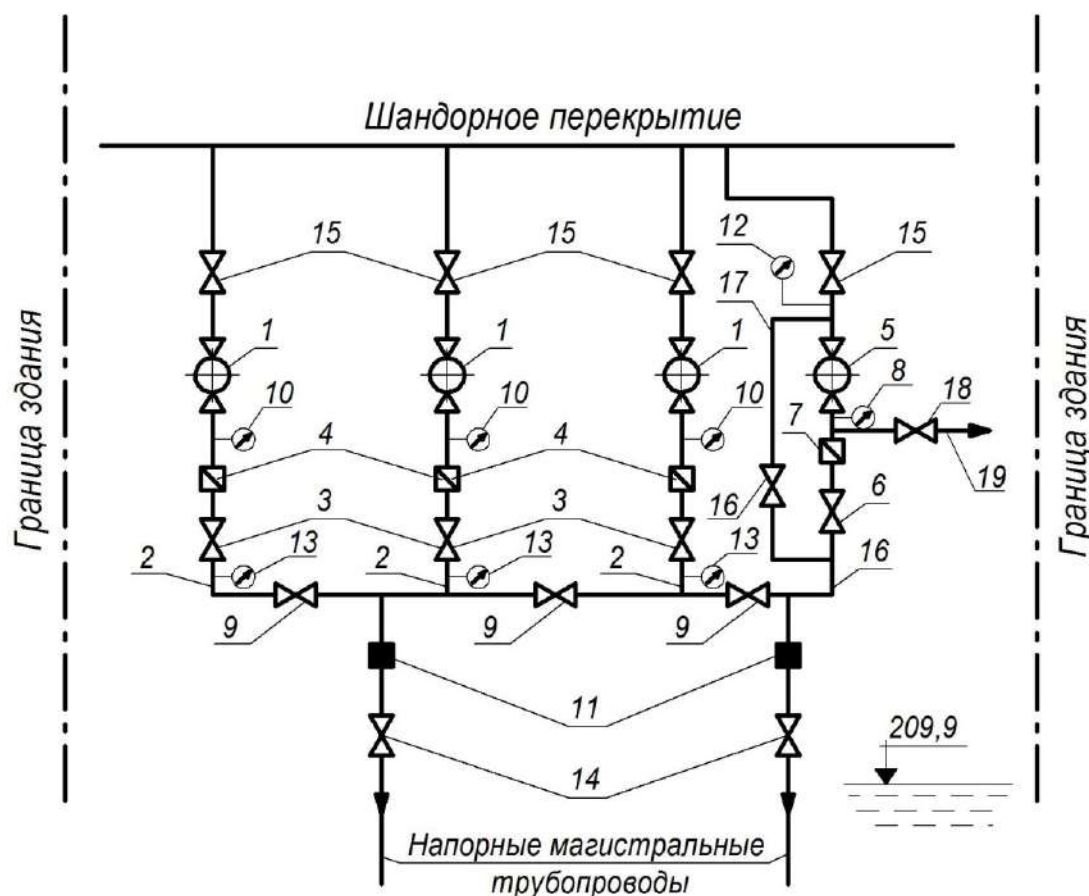
- пускается бустерный насос 5 при закрытых задвижках 3, 6, 14, в случае стандартного пуска манометр 8 покажет полную величину потенциальной энергии в трубопроводе 16 и корпусе насоса 5;

- открывается задвижка 14 при закрытых задвижках 3 и плавно открывается задвижка 6, энергия в трубопроводе 16 увеличивается по мере заполнения всасывающего, напорных распределительного и магистрального трубопроводов, что засвидетельствует манометр 8 и мановакуумметр 12. При полном заполнении напорного магистрального трубопровода манометр 8 покажет, как минимум, разницу отметок водоисточника 151,9 и уровня воды в отводящем канале 209,9.



Далее описывается пуск одного основного агрегата;

- задвижка 6 закрывается и пускается основной агрегат 1 при закрытых задвижках 3, 4, 6 в случае режимного пуска, что засвидетельствует манометр 10, плавно открывается задвижка 3, и манометр 10 покажет полную потенциальную энергию – разницу отметок и суммарной величины потерь напора в напорном распределительном 2 и магистральном трубопроводах. Расходомер 11 покажет величину подачи основного агрегата. Возможность пуска нескольких основных агрегатов устанавливается по вышеприведённым таблицам 3.3, 3.4 на один и два напорных трубопровода;



1 – основные насосные агрегаты; 2 – напорный распределительный трубопровод основных агрегатов; 3, 6, 9, 14, 15, 16 – задвижки; 4, 7 – обратные клапана; 5 – бустерный насос; 8, 10, 12, 13, 18 – манометры; 11 – расходомеры; 17 – байпас; 19 – сбросной трубопровод

Рисунок 4.1 – Технологическая схема установки оборудования на исследуемой насосной станции «Междуречье»

- бустерный насос 5 останавливается, и в случае необходимости задвижка 15 закрывается (при отрицательной высоте всасывания насоса 5).

Второй – остановка основных агрегатов в вегетационный период. Основная задача службы эксплуатации в таком случае – не допустить освобождения трубопровода при различных видах утечек. Контроль наличия оставшейся воды в магистральном трубопроводе производится манометрами 13, показания которых при остановленных агрегатах должны соответствовать геометрической высоте подъёма. При наличии утечек и понижении показаний манометра 13 поддержание заполненного состояния трубопроводов производится бустерным насосом по вышеизложенному порядку.

При остановке основных агрегатов для предотвращения обратного тока воды в магистральном трубопроводе разработанная технология предусматривает предварительное закрытие обратных клапанов с помощью увеличенной энергии в потоке, созданной дополнительным насосом [110]:

- открывается задвижка 15 (при отрицательной высоте всасывания, при положительной задвижка не устанавливается);
- пускается бустерный насос 5, при закрытой задвижке 6;
- задвижка 6 плавно открывается, и при условии увеличения потенциальной энергии вследствие пуска дополнительного насоса в трубопроводе 16 закрывается обратный клапан 14 работающего основного насоса;
- основной агрегат останавливается при работающем бустерном насосе;
- прикрывается задвижка 6 бустерного насоса, обратный клапан 7 закрывается, и насос останавливается с гарантированным отсутствием обратного тока воды в напорном магистральном трубопроводе.

Третий – эксплуатация насосной станции в вегетационный период. Осуществляется с соблюдением всех норм, стандартных эксплуатационных режимов. В случае необходимости подключения дополнительных потребителей (необходимости подключения неработающего агрегата) неработающий агрегат пускается с остановленным бустерным насосом, вследствие увеличенного насоса в сети изменятся потери напора и потенциальная энергия, после чего подключается дополнительный потребитель. Данный порядок предотвращает разрыв сплошности

потока в трубопроводах и возможность появления гидравлических ударов в сети. Подключение дополнительных агрегатов к сети осуществляется в строгом соответствии с соответствующими нормами наличия потенциальной энергии. Основным необходимым принципом является соблюдение возможности увеличения энергии в сети бустерным насосом перед остановкой основного насоса для предварительного закрытия обратных клапанов.

Кроме того, включение дополнительного агрегата производится при закрытой задвижке 3 на напорном распределительном трубопроводе, которая открывается при наличии показания полного давления манометром 10.

Четвёртый – остановка и консервация насосной станции в конце сезона производится в таком же порядке, как и остановка по второму варианту, с использованием бустерного насоса. После остановки вода сбрасывается через мокрый колодец, после чего открываются все задвижки насосной станции, в случае необходимости проводится ревизия и консервация всей трубопроводной арматуры и агрегатов (Приложение А).

## **4.2 Технологический процесс пуска, эксплуатации и остановки бустерного насосного агрегата**

Технологический процесс пуска, эксплуатации и остановки бустерного насосного агрегата предусматривает, аналогично с основными агрегатами, четыре режима.

Первый – пуск бустерного насоса в начале сезона на незаполненный трубопровод. При пуске бустерного насоса в начале сезона на незаполненный трубопровод независимо от расчётной величины полных энергий (см. рисунок 4.2, 4.3) при эксплуатационных режимах основных агрегатов энергия бустерного насоса не оказывает влияния на энергию основных насосов, так как фактически в свободном трубопроводе никакого вида энергии не существует.

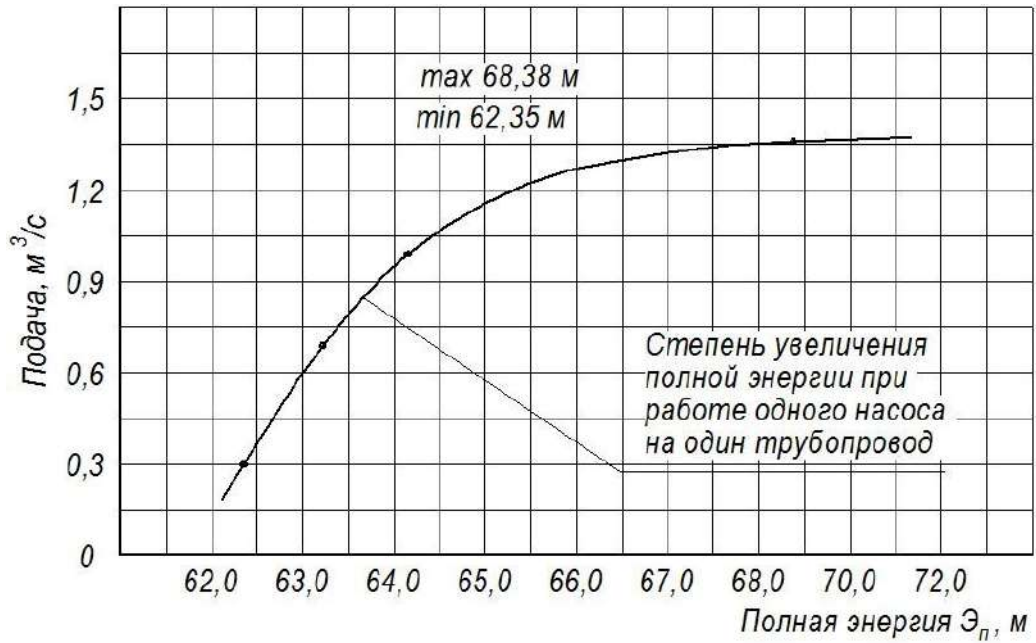


Рисунок 4.2 – Зависимость полной энергии в трубопроводе от подачи одного основного насоса на один трубопровод

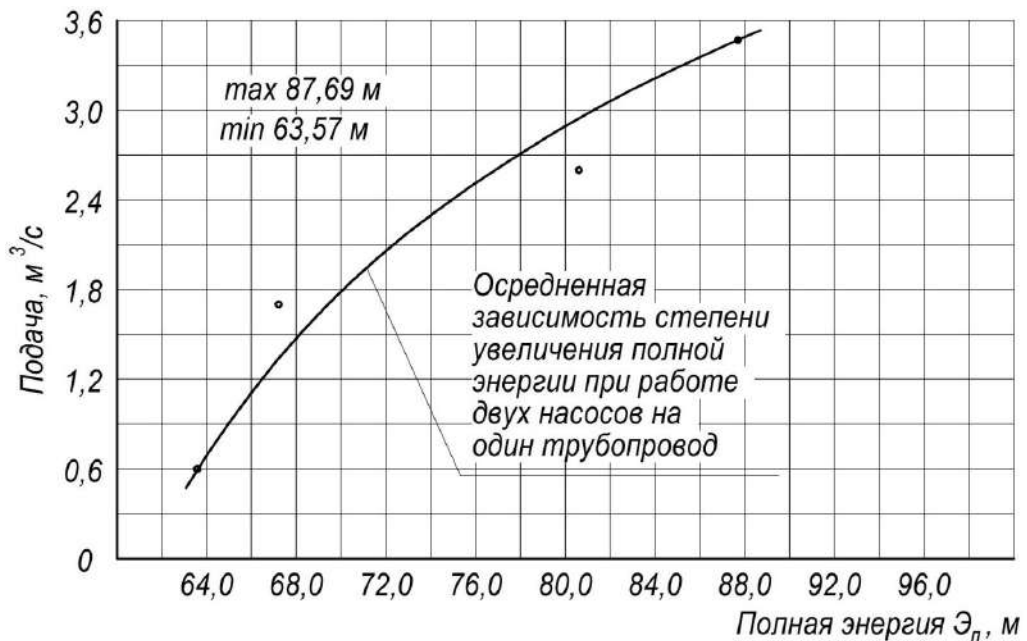


Рисунок 4.3 – Зависимость полной энергии в трубопроводе от подачи двух основных насосов на один трубопровод

В данном случае бустерный насос работает на заполнение трубопровода с малой подачей с целью создания потенциальной энергии в трубопроводе для возможности пуска основных агрегатов с напором, соответствующим максимальному КПД агрегата. При наполнении трубопровода и создании в нём

потенциальной энергии, соответствующей геометрической высоте подъёма напорного трубопровода, бустерный насос способствует закрытию обратных клапанов основных насосов, после чего закрываются задвижки 6, 15 бустерного насоса и пускается в работу основной агрегат, при этом автоматически закрывается обратный клапан 7.

Второй – пуск бустерного насоса в случае необходимости остановки основных насосов в вегетационный период осуществляется для предварительного закрытия обратных клапанов основных насосов. В данном случае следует определять полную энергию в напорных трубопроводах в зависимости от количества включённых агрегатов по рисункам 4.2, 4.3 и расчётную полную энергию, создаваемую бустерным насосом  $\mathcal{E}_{п.б}$ , определяемую по рисунку 4.4.

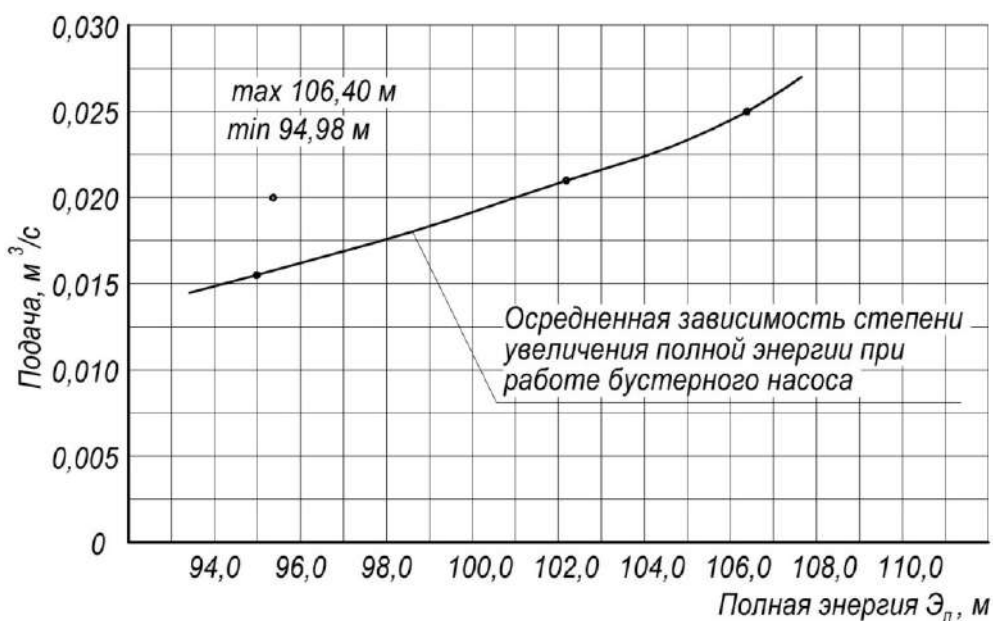


Рисунок 4.4 – Зависимость полной энергии в трубопроводе от подачи бустерного насоса

В случае, когда величина  $\mathcal{E}_{п.б}$  превышает значение  $\mathcal{E}_п$  не менее, чем на 5-6 м, бустерный насос пускается с определённой, описанной в режиме втором – остановка основных агрегатов вегетационный период. При прекращении подачи основными агрегатами, в случае наличия утечек в сети и необходимости поддержания напорного трубопровода в наполненном состоянии, бустерный насос

настраивается на автоматическое поддержание давления в сети, равное по величине необходимому давлению для пуска основного агрегата в оптимальном режиме.

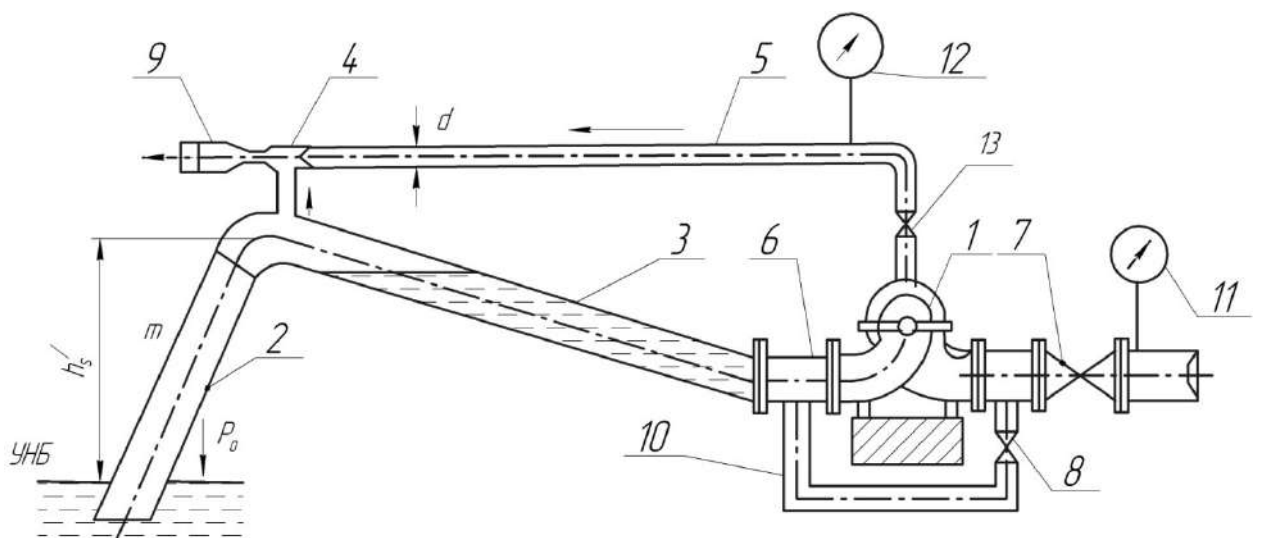
Третий – эксплуатация бустерного насоса в случае необходимости поддержания напорного трубопровода в наполненном состоянии при остановках основных агрегатов. В этом случае, при наличии утечек в сети, давление на обратные клапаны основных агрегатов и бустерного насоса падает, бустерный насос настраивается на автоматическое поддержание энергии в размере геометрической высоты подачи, что в случае необходимости пуска основных агрегатов соответствует оптимальной величине напора при максимальном КПД основного агрегата.

Четвёртый – эксплуатация бустерного насоса при остановке насосной станции на зимний период. Пуск осуществляется по последовательности, описанной в разделе четвёртом – остановка и консервация насосной станции. При необходимости опорожнения напорного магистрального трубопровода открывается задвижка 16 байпаса 17 и задвижка 18 сбросного трубопровода 19 при открытых задвижках 9, 14, и магистральный трубопровод освобождается бустерным насосом.

#### **4.3 Процесс пуска, эксплуатации и остановки насосной станции с использованием линии рециркуляции и передвижной насосной станции**

Центробежные насосы эксплуатируются с положительной и отрицательной высотой всасывания. Установка линии рециркуляции для повышения потенциальной энергии во всасывающих трубопроводах, как правило, предусматривается при положительной высоте всасывания, когда отметка оси насоса рассчитывается при монтаже оборудования выше отметки водоисточника

(рисунок 4.5). В таких случаях во всасывающие трубопроводы насосных агрегатов врезаются струйные аппараты, повышающие потенциальную энергию с питанием от линии рециркуляции (см. рисунок 2.10). На основании проведенного расчета (раздел 2.3) величина повышения кинетической энергии струйными аппаратами на всасывающем трубопроводе незначительна и предусматривает, в основном, потери напора, компенсируемые линией рециркуляции, влияющей на напор насосного оборудования, но не на значение полной энергии в напорных трубопроводах перед обратными клапанами основных агрегатов (см. раздел 2).



1 – центробежный насос; 2 – восходящий всасывающий трубопровод; 3 – нисходящий всасывающий трубопровод; 4 – эжектор; 5 – линия питания эжектора; 6 – струйный аппарат; 7, 8, 13 – задвижки; 9 – сбросной трубопровод; 10 – линия рециркуляции, 11, 12 – манометры

Рисунок 4.5 – Схема насосной установки с положительной высотой всасывания с использованием струйного аппарата и линией рециркуляции

В связи с вышеизложенным эксперимент по данной проблеме не проводился, но создавшейся в водоисточниках обстановке, когда повсеместно наблюдается неплановое понижение отметок водоисточников (Приложение Д), вопрос повышения кавитационного запаса на мелиоративных оросительных сетях с машинным водоподъемом во многих случаях актуален.

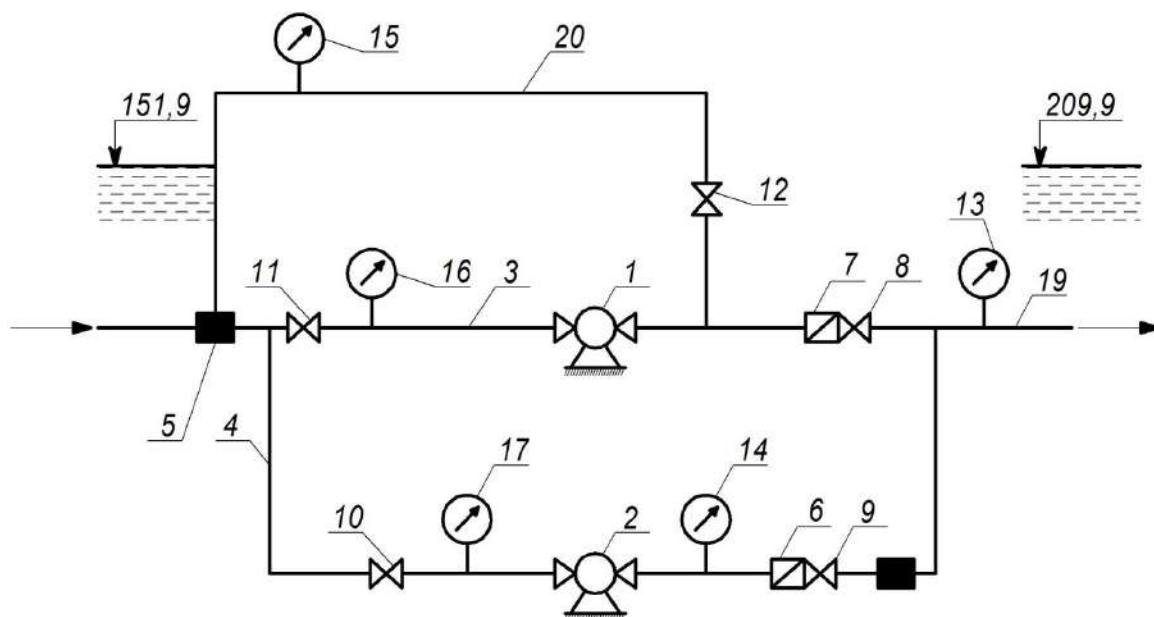
По сравнению с вышеописанным технологическим процессом, при использовании бустерного насоса перед пуском и остановкой основных агрегатов

эксплуатация насосного оборудования с линией рециркуляции связана с дополнительными сложностями увеличения потерь энергии и снижением КПД системы. Данное изменение КПД оправдывается в случае полной остановки процесса орошения на больших площадях. Технологический процесс пуска и эксплуатации насосного оборудования с линией рециркуляции и бустерным насосом несколько отличается от эксплуатации насосной станции без необходимости повышения полной энергии во всасывающих трубопроводах. Схема оборудования насосной станции с установкой бустерного насоса и линией рециркуляции приведена на рисунке 4.6. По схеме, показанной на рисунке 4.6, насосное оборудование пускается стандартными методами, но при понижении уровня водоисточника схема с вакуум-насосным оборудованием не может быть использована, и в основном применяется приподнятый всасывающий трубопровод (см. рисунок 4.5).

Кроме того, перед пуском основных агрегатов необходимо пустить в работу струйный аппарат [118] по схеме с дополнительным насосным оборудованием и передвижную насосную станцию СНП для возможности создания перед пуском необходимой дополнительной величины вакуума и возможности пуска бустерного агрегата при открытых задвижках 11 на всасывающем трубопроводе 3 основного насоса и 10 на всасывающем трубопроводе бустерного насоса 2. В случае пуска бустерного насоса манометр 14 покажет его максимальное давление  $\sim 100-110$  м (см. рисунок 3.9). Открывается задвижка 9, и трубопроводная сеть по напорному трубопроводу бустерного насоса 18 наполняется. При заполненной сети манометр 13 покажет геометрическую высоту подъема. Бустерный насос отключается, открывается задвижка 11, пускается основной агрегат 1.

В случае режимного пуска основного агрегата манометр 13 покажет величину полной потенциальной энергии в напорном трубопроводе (сумма геометрической высоты подъема и потерь напора в напорном трубопроводе). Передвижная насосная станция отключается, открывается задвижка 12 линии рециркуляции, и дальнейшая эксплуатация основных агрегатов происходит с помощью линии рециркуляции 20 и струйного аппарата 5.





1 – основной насосный агрегат; 2 – бустерный насос; 3 – всасывающий трубопровод основного насоса; 4 – всасывающий трубопровод бустерного насоса; 5 – струйный аппарат; 6, 7 – обратные клапана; 8, 9, 10, 11, 12 – задвижки; 13, 14, 15, 16, 17 – манометры

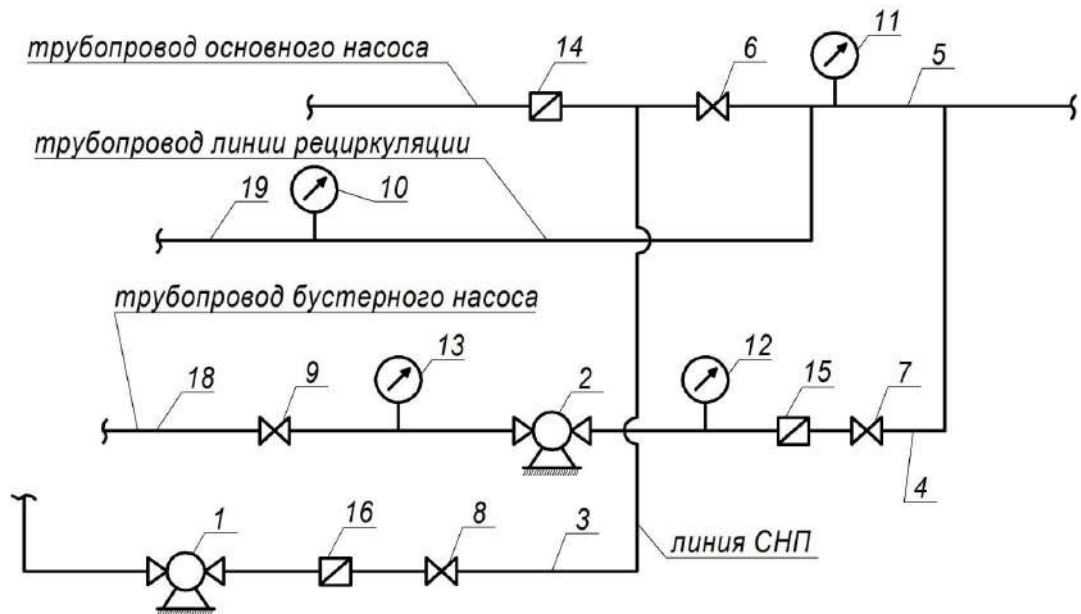
Рисунок 4.6 – Схема установки оборудования на насосной станции с линией рециркуляции и бустерным насосом

Из вышеизложенного очевидно, что при больших колебаниях уровня воды в водоисточнике необходимость наличия передвижной насосной станции оправдывается из-за возможности полной остановки основного насосного оборудования и прекращения подачи воды на орошение.

В случае штатной остановки основных агрегатов необходимость использования СНП отпадает, для предварительного закрытия обратного клапана пускается бустерный насос 2, после чего закрывается задвижка 8 на напорном трубопроводе, что гарантирует отсутствие обратного движения воды. Задвижка 9 закрывается, и бустерный насос останавливается. В процессе эксплуатации насосных станций наиболее опасные периоды наблюдаются при внезапной остановке насосных агрегатов, при непредвиденном отключении электроэнергии.

На крупных насосных станциях, когда геометрическая высота подъёма превышает 50-70 м, а на последнем гидранте необходим остаточный напор до 50-60 м, для использования дождевальных машин центробежные насосы работают на

пределе своих возможностей по напору (120-130 м), к безаварийному процессу остановки необходимо провести подготовку заранее. В данном случае пуск бустерного насоса отпадает и возникает необходимость в использовании СНП по схеме (рисунок 4.7).



- 1 – насос СНП; 2 – бустерный насос; 3 – напорный трубопровод СНП; 4 – напорный трубопровод бустерного насоса; 5 – напорный трубопровод основного насоса; 6, 7, 8, 9 – задвижки; 10, 11, 12, 13 – манометры; 14, 15, 16 – расходомеры; 17 – напорный трубопровод СНП; 18 – всасывающий трубопровод бустерного насоса; 19 – трубопровод линии рециркуляции

Рисунок 4.7 – Схема трубопроводной обвязки насосной станции, оборудованной бустерным насосом, линией рециркуляции и передвижной насосной станцией (СНП)

Внезапная остановка приводных двигателей сопровождается обратным движением воды в напорном трубопроводе 5, способствующим до момента закрытия обратного клапана 14 и задвижки 6 резкому повышению давления и увеличенному реверсивному вращению насоса и двигателя.

В данный момент одновременно с закрытием задвижки 6 запускается в работу насос СНП при открытой задвижке 8 и обратном клапане 16 по напорному трубопроводу 3, под напором вода поступает к месту врезки клапана 14, её энергия

способствует его закрытию. Манометрами 10, 11, 12, 13 и расходомерами 14, 15, 16 контролируется весь процесс остановки агрегатов (Приложение Б).

### **Выводы по главе**

Настоящая технология предотвращения обратного движения воды с помощью бустерного насоса позволяет:

- усовершенствовать процесс и обосновать безаварийную эксплуатацию напорных трубопроводов оросительных сетей;
- предотвратить создание условий для гидравлического удара при переходных процессах в трубопроводной сети;
- без использования дополнительного оборудования в насосной станции исключить обратный поток воды и гидравлический удар в сети методом предварительного закрытия обратного клапана на напорном трубопроводе;
- в случае необходимости повышения кавитационного запаса насосного оборудования технологическим процессом рассмотрена возможность использования линии рециркуляции и струйного аппарата на всасывающем трубопроводе.

## **5 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО НАСОСНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ДВИЖЕНИЯ ЖИДКОСТИ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ**

В разработанном технологическом процессе в качестве вспомогательного насосного оборудования используются применяемые на мелиоративных насосных станциях бустерные насосы малой мощности для поддержания оросительной сети в заполненном состоянии в случае остановки основных насосов или первоначального заполнения напорных трубопроводов.

Напор бустерных насосов определяется суммой геодезической высоты подъёма и потерь напора в сети – практически приравнивается к напору основного насоса. Расход бустерных насосов, согласно ведомственным строительным нормам (ВСН 33-2.2.12.87) [27], принимается в размере 10-15 % от расхода основного агрегата. Работа бустерного насоса прерывается и сблокирована с работой водовоздушного резервуара (ВВР) (рисунок 5.1), который обеспечивает давление в сети.

Для каждой конкретной насосной станции частота включения бустерного насоса зависит от многих параметров оросительной сети (протяжённости и диаметров трубопроводов, минимальной и максимальной отметок водоисточника).

Как правило, эксплуатируют насосные станции двумя режимами [55]:

Первый дежурный режим – режим автоматического поддержания давления в трубопроводной сети при закрытых гидрантах. Для подготовки насосных станций в дежурном режиме насосная станция переводится на ручное управление, данная ситуация возникает при вынужденных длительных остановках. Частота включения бустерного насоса зависит от соотношения утечек воды из сети, ёмкости ВВР и максимального давления, развиваемого бустерным насосом.

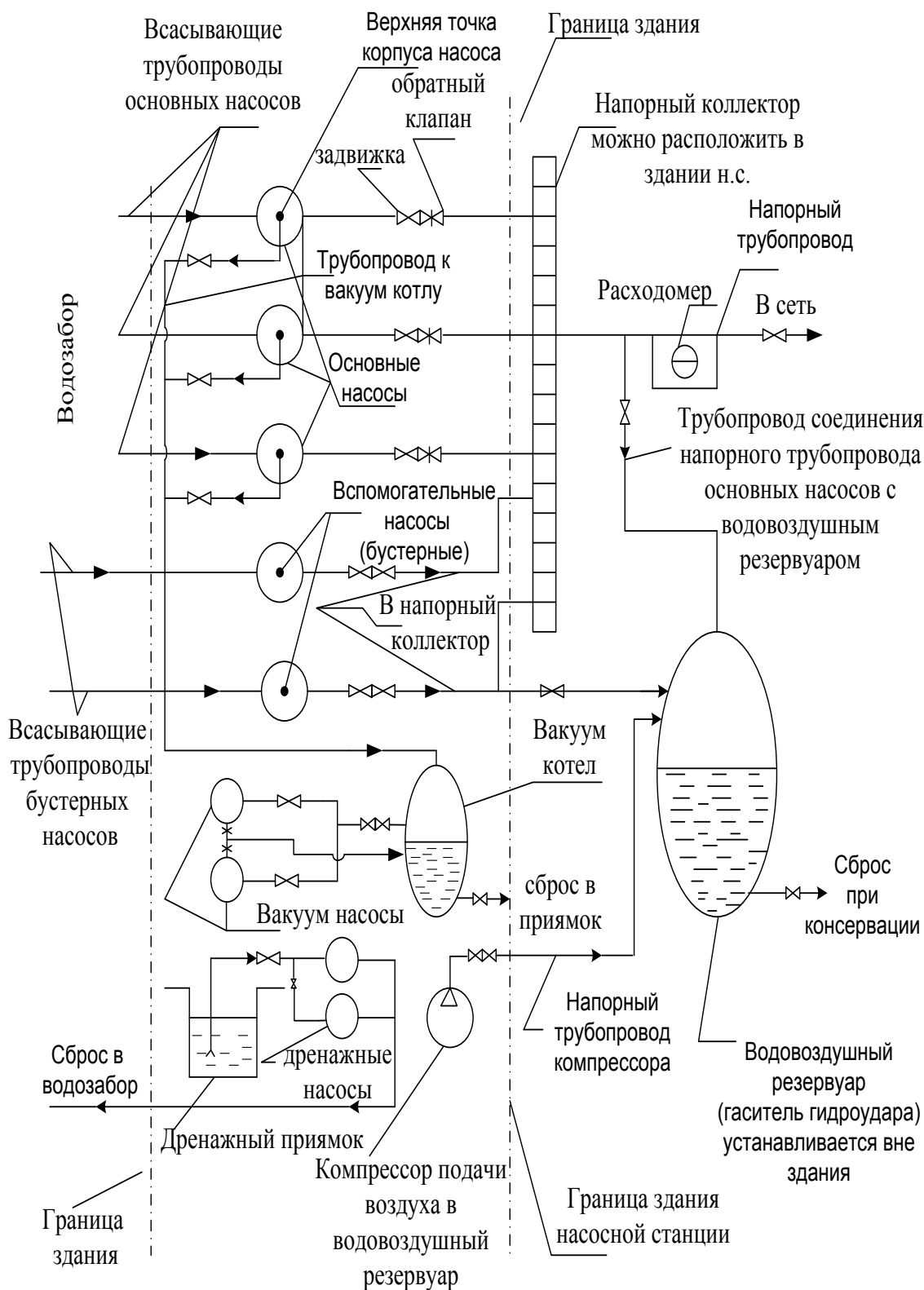
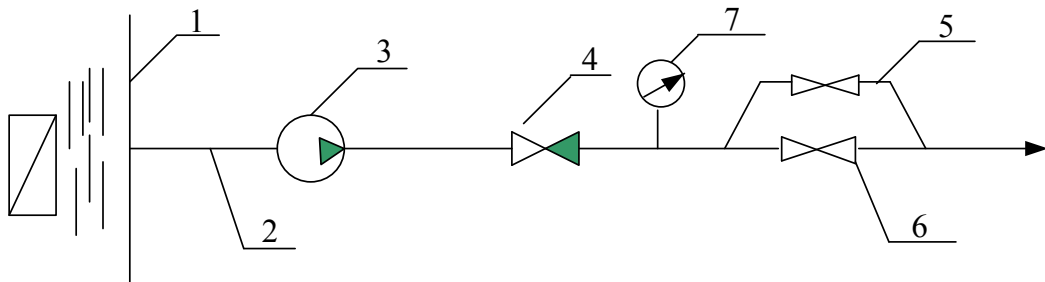


Рисунок 5.1 – Типовая мелиоративная насосная станция для закрытой сети с положительной высотой всасывания, основными и бустерными насосами

Вторая схема разработана Росгипроводхозом и утверждена Минсельхозом РФ в 1990 г. В соответствии с ней работа насосной станции принимается без дежурного режима и включает следующее положение:

- заполнение (дозаполнение) закрытой сети осуществляется основными насосами по байпасному трубопроводу (рисунок 5.2).



1 – водозабор; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – основной насос; 4 – обратный клапан;  
5 – байпасный трубопровод; 6 – напорный распределительный трубопровод; 7 – манометр

Рисунок 5.2 – Схема заполнения закрытой сети  
через байпасный трубопровод

По рекомендациям разработчиков, диаметр байпасного трубопровода принимается 30-100 мм, пуск основных агрегатов осуществляется при закрытой задвижке 6 на основном трубопроводе и открытой задвижке 5 на байпасном. Данная схема не может быть использована в принципе, так как использовать основное насосное оборудование на трубопровод 80-100 мм при заполнении магистральных водоводов больших диаметров нет возможности. Для реализации данного проекта в качестве дополнительного насоса рекомендуется использование бустерных насосов с напором, превышающим существующие. Практически рекомендуемая область эксплуатации по характеристике должна находиться в зоне, превышающей напор основных насосов не менее чем на 7-10 м.

### 5.1 Энергетическое сравнение характеристик существующего бустерного насоса на исследуемой насосной станции «Междуречье» с рекомендуемым насосным оборудованием

На исследуемой насосной станции в качестве бустерного насоса использовался центробежный насос консольного типа К 90 / 55 с максимальной величиной напора 60 м при подаче 0,010-0,015 м<sup>3</sup>/с и диаметром рабочего колеса 218 мм (рисунок 5.3).

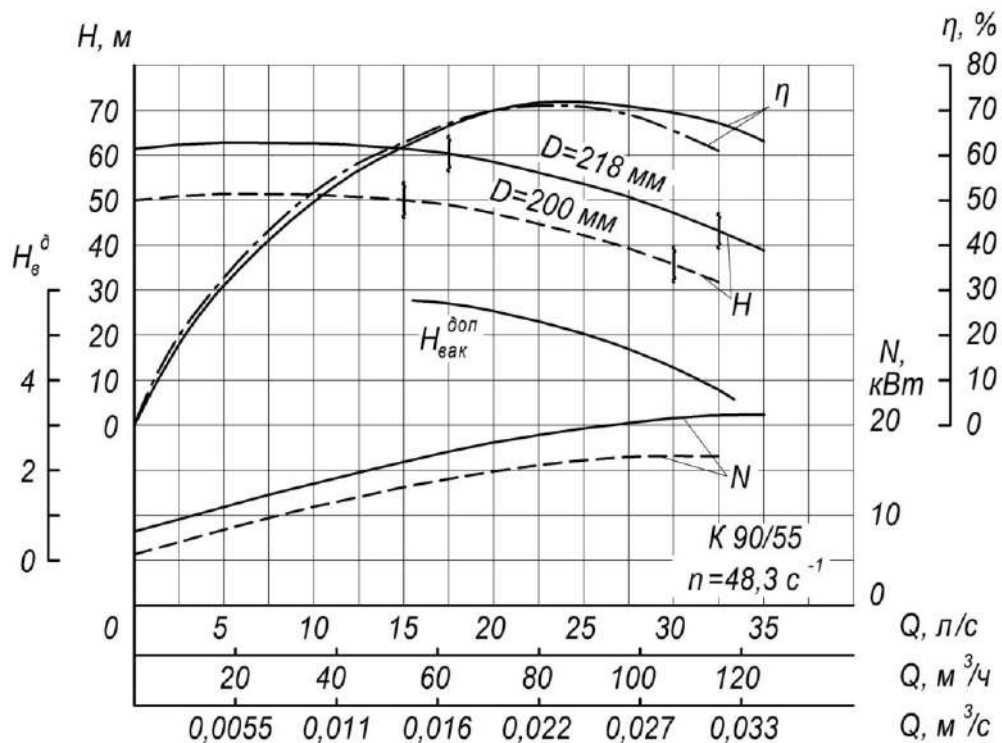


Рисунок 5.3 – Характеристика консольного насоса К 90 / 55,  
 $n = 48,3 \text{ c}^{-1}$ ,  $D_{\text{р.к.}} = 218 \text{ мм}$

Расчётная максимальная полная энергия, создаваемая насосом К 90 / 55 с диаметром рабочего колеса  $D_{\text{р.к.}} = 218 \text{ мм}$ , в случае использования в качестве агрегата, предотвращающего обратное движение потока, соответствует значению 90,37 м (таблица 5.1), при подаче 0,035 м<sup>3</sup>/с и суммарных потерях 29,88 м. Получить её практически невозможно, на что указывает напорно-расходная характеристика.

В данном случае полную энергию увеличивают потери напора 29,88 м при скорости потока в напорном распределительном трубопроводе 7 м/с, вследствие чего на исследуемой насосной станции произведена замена насоса К 90 / 55 на насос К 90 / 85, расчётная экспериментально полученная полная энергия которого соответствует величине 94,98 м – 106,4 м (см. таблицу 3.2, 3.3), что подтверждает возможность его использования как теоретическими, так и экспериментальными исследованиями. Разница в потребляемой энергии составляет 10-12 кВт.

Таблица 5.1 – Расчётные величины полной энергии бустерного насоса насосной станции «Междуречье» (геодезическая высота подъёма 58,0 м, длина трубопровода 3608 м (расчёт проведён для напорного распределительного трубопровода с диаметром 100 мм, при длине 48 м))

| Напор, м            | Подача, м <sup>3</sup> /с | Суммарные потери напора, м | Скорость в напорном распределительном трубопроводе, м/с | Скоростной напор, $V_6^2/2g$ , м | Потенциальная энергия, м | Полная энергия, м |
|---------------------|---------------------------|----------------------------|---|----------------------------------|--------------------------|-------------------|
| (по характеристике) |                           |                            |   |                                  |                          |                   |
| 62,0                | 0,005                     | 0,1                        | 0,99  | 0,05                             | 58,1                     | 58,15             |
| 62,0                | 0,010                     | 2,4                        | 2,00  | 0,20                             | 60,4                     | 60,6              |
| 61,0                | 0,015                     | 5,4                        | 3,00  | 0,45                             | 63,4                     | 63,85             |
| 60,0                | 0,020                     | 9,72                       | 4,00  | 0,81                             | 67,72                    | 68,53             |
| 55,0                | 0,025                     | 15,24                      | 5,00  | 1,27                             | 73,24                    | 74,51             |
| 48,0                | 0,030                     | 21,96                      | 6,00  | 1,83                             | 79,96                    | 81,79             |
| 40,0                | 0,035                     | 29,88                      | 7,00  | 2,49                             | 87,88                    | 90,37             |

Дальнейший расчёт экономической эффективности проведён согласно положениям Инструкции по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений (СН509-78) [56] путём сопоставления экономического эффекта от внедрения технологии остановки основного агрегата путем предварительного



закрытия обратного клапана бустерным насосом, приобретения гидравлического гасителя удара диаметром 600 мм и увеличенных затрат при использовании принятого оборудования.

## 5.2 Расчёт увеличения затрат от использования в качестве бустерного насоса К 90 / 85 в сравнении с используемым насосом К 90 / 55

При использовании насоса К 90 / 85 в качестве бустерного затраты возрастут вследствие увеличенного потребления электроэнергии (см. рисунок 2.9, 5.3, таблица 5.2). Исходные данные для расчёта приведены в таблице 5.2, расчёт – в таблице 5.3.

Таблица 5.2 – Исходные данные для расчёта увеличения величины потребляемой электроэнергии

| Показатель  | Насосный агрегат  |   |
|---|---|---|
|   | Заменяемый К 90 / 55  | Используемый К 90 / 85                      |
| Количество, шт.   | 1   | 1   |
| Подача, $Q_6$ , м <sup>3</sup> /с   | 0,035<br>(см. таблицу 5.1)                                    | 0,025<br>(см. таблица 3.3)                  |
| Напор, $H_6$ , м  | 40,0<br>(по характеристике<br>рисунок 5.3)                    | 90,0<br>(по характеристике<br>рисунок 3.10) |
| Мощность оборудования,<br>кВт ( $N = 9,8 \cdot Q_6 \cdot H_6$ )           | Рассчитано по зависимости $N = 9,8 \cdot Q_6 \cdot H_6$ [104] |   |
|   | 13,72   | 22,5  |
| Сезонное количество<br>потребляемой энергии,<br>$\mathcal{E}_c$ , кВт·час | Принято использование бустерных насосов $t = 126$ час         |   |
|   | $\mathcal{E}_{c_1} = 1728,7$                                  | $\mathcal{E}_{c_2} = 2778,3$                |

Срок службы принятого оборудования без капитального ремонта составляет 5 лет (Технический регламент Таможенного союза «О безопасности оборудования, работающего под избыточным давлением» (ТР ТС 032/2015), принятый Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 02.07.2013 г. № 41).

Таблица 5.3 – Расчёт увеличения величины затрат от использования бустерного насоса К 90 / 85

| Показатели   | Затраты на использование насосного оборудования            |   | Разница в затратах, руб.  |
|--|--|---|---|
|  | Заменяемого К 90 / 55                                      | Установленного К 90 / 85  |   |
| Стоимость эксплуатации насосного оборудования (сезонное), руб.,<br>$T_6 = \mathcal{E}_{c_1} \cdot t$ | При цене за 1 кВт·час затраченной электроэнергии 4,63 руб. |   | 4860,00 – годовая;<br>24298,00 – за пяти-летний срок эксплуатации |
|  | $T_{6_1} = 1728,7 \cdot 4,63 = 8003,88$                    | $T_{6_2} = 2778,3 \cdot 4,63 = 12863,53$  |   |
| Строительно-монтажные работы, С, тыс. руб.   | 24,4<br>(принято по времени демонтажа, 8 часов)            | 125,4<br>(принято по времени монтажа, 16 ч и стоимости материалов и оборудования) | 101,00<br>(на весь срок эксплуатации)                             |

Положительный экономический эффект в данном случае не может быть получен в связи с установкой насосного оборудования большей мощности на 8,33 кВт и вследствие увеличения потребляемой энергии в сезон на 1050 кВт·час. Увеличение общей стоимости СМР и эксплуатации оборудования (приведённой к годовой) составляет  $4860,0 + 101000,0 = 105860,0$  рублей.

На рисунке 5.4 показана зависимость увеличения стоимости эксплуатации принятого насосного оборудования и потерь энергии от срока эксплуатации насосной станции.

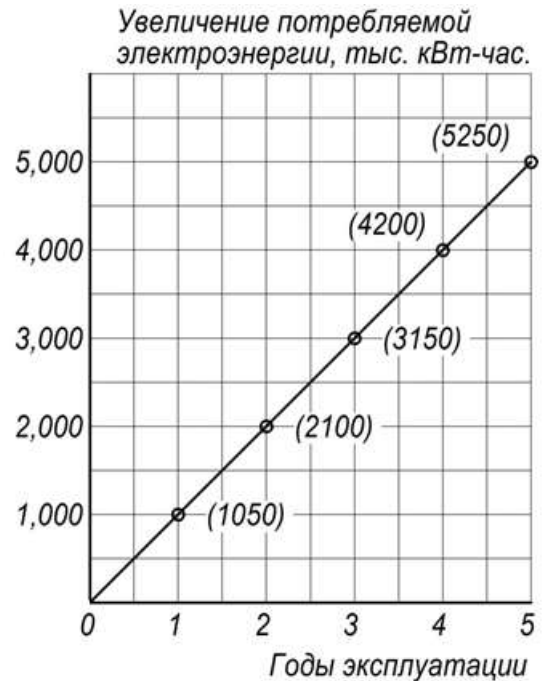
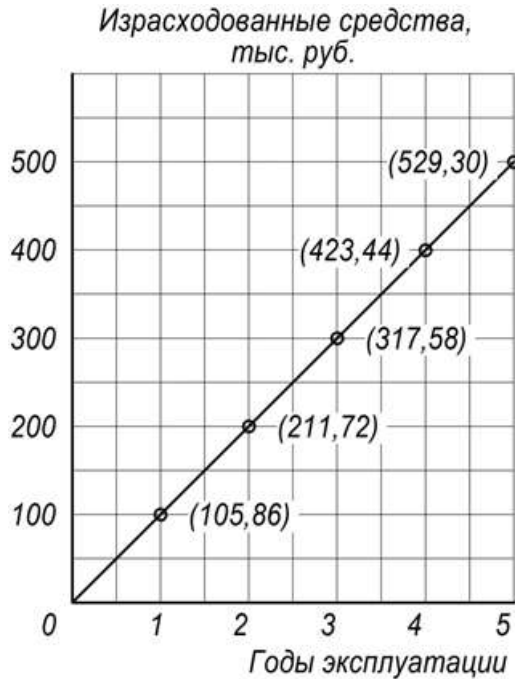


Рисунок 5.4 – Зависимость увеличения стоимости эксплуатации принимаемого бустерного насоса от срока эксплуатации

Рисунок 5.5 – Зависимость увеличения затраченной электроэнергии принятого бустерного насоса от срока эксплуатации

На рисунках 5.4 и 5.5 показаны ежегодные и пятилетние значения увеличения затрат на потери энергии (от 1050 до 5250 кВт·час) и эксплуатацию (от 105860 до 529300 руб.) принятого оборудования.

Для окончательных выводов о экономической возможности установки предлагаемого насосного оборудования в настоящем разделе приведено сравнение предлагаемой технологии с современными способами предотвращения обратного потока воды и гашения гидравлического удара в напорных трубопроводах методом установки обратных клапанов.

### 5.3 Экономическое сравнение предлагаемого насосного оборудования с существующими способами гашения гидравлического удара

Расчёт экономического эффекта от применения предлагаемого более эффективного оборудования проведён согласно Инструкции СН509-78 [56] на основании таблицы 5.4 стоимости обратных клапанов Российского [92, 96] и иностранного производства (рисунок 5.6). Исходные данные для расчёта приведены в таблице 5.5.



Рисунок 5.6 – Общий вид клапанов для гашения гидроударов Vermad (Израиль)

Таблица 5.4 – Стоимость обратных клапанов для защиты от гидроудара иностранного и Российского производства

| Наименование  | Возможный диаметр трубопровода | Возможное давление | Стоимость, млн руб. |
|---|--------------------------------|--------------------|---------------------|
| Клапан для защиты от гидроудара серии SR (Германия) | 100-400 мм                     | 16-160 МПа         | 20,0-45,0           |
| Клапан для защиты от гидроудара Vermad (Израиль)    | 40-1200 мм                     | 10-16 МПа          | 0,25-85,0           |
| Гаситель гидравлических ударов ГУП-350 (Россия)     | 200-300 мм                     | 10 МПа             | 0,45-0,70           |

По характеристике исследуемой насосной станции (см. рисунках 2.4-2.7) рекомендуется установка обратных клапанов диаметром 600 мм для давления 10 МПа, вследствие чего для дальнейших сопоставлений принимается клапан для защиты от гидроудара Израильского производства для диаметра напорного распределительного трубопровода основных насосов (место установки обратных клапанов) с ценой 6,75 млн руб. в связи с отсутствием возможности приобретения клапанов российского производства.

Таблица 5.5 – Исходные данные для расчёта

| Показатели   | Единица измерения | Использование обратных клапанов (Израиль) | Внедряемая новая технология с бустерным насосом |
|--|-------------------|---|---|
| 1. Балансовая стоимость комплекта оборудования   | млн руб.          | 6,75                                      | 0,1245-   |
| 2. Количество комплектов   | шт.               | 3   | 1   |
| 3. Срок службы   | лет               | 20  | 5   |
| 4. Годовая стоимость эксплуатации:   |                   |   |   |
| - обратный клапан (3 шт.)  | руб.              | 1012500,00                                | –   |
| - внедряемая технология  | руб.              | –   | 12863,53  |
| 5. Годовой объём работ оборудования (предварительное закрытие обратного клапана перед остановкой основного агрегата) | час               | 126                                       | 126   |

Расчёт годового экономического эффекта проведён по зависимости:

$$\mathcal{E} = \left( Z_1 \cdot \frac{B_2}{B_1} \cdot \varphi + \mathcal{E}_{\text{э.орг.}} - Z_2 \right) A_2$$

где  $\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект от внедряемой новой технологии;

$Z_1, Z_2$  – приведённые затраты годовой эксплуатации;

$B_1, B_2$  – годовой объём работ оборудования;

$\varphi$  – коэффициент учёта изменения сроков службы (1,0);

$\mathcal{E}_{\text{э.орг.}}$  – экономический эффект эксплуатирующей организации за срок службы нового технологического процесса по сравнению с обратными клапанами;

$A_2$  – годовой объём производства новой технологии (1,0).

В данном случае сопутствующие капитальные вложения потребителя (эксплуатирующей организации) не изменяются.

Экономический эффект эксплуатирующей организации за срок службы нового технологического процесса по сравнению с базовым оборудованием определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{э.орг.}} = \frac{(I_1 - I_2)}{P + E_H},$$

где  $I_1, I_2$  – годовые эксплуатационные расходы по сравниваемым вариантам ( $I_1 = 1012500$  руб.,  $I_2 = 12863,53$  руб.);

$P + E_H$  – коэффициент реновации, принимается в зависимости от срока службы новой технологии (принимается 0,31 [63]).

$$\mathcal{E}_{\text{э.орг.}} = \frac{(1012500,00 - 12863,53)}{0,31} = 3224633,8 \text{ руб.};$$

$$\begin{aligned} \mathcal{E} &= \left[ 1012500 \cdot \frac{126}{126} \cdot 1,0 + 3224633,8 - 124500,00 \right] \cdot 1 = \\ &= [1,0125 + 3,225 - 0,1245] = 4,113 \text{ млн руб.} \end{aligned}$$

Полученный по предложенной методике результат экономической эффективности на исследуемой насосной станции «Междуречье» (4,113 млн руб.) может быть пересчитан для эксплуатируемых насосных станций, оборудованных центробежными насосами, в зависимости от их гидравлических параметров как в Северо-Кавказском регионе, так и в целом в Российской Федерации.

## **Выводы по главе**

1. Использование дополнительного насосного оборудования в виде бустерного насоса с повышенными гидравлическими параметрами, по сравнению с существующими, увеличивает сезонное потребление электроэнергии с одновременным увеличением стоимости эксплуатации гасителя гидравлического удара до 12863,53 руб., что несопоставимо с ценой российских и зарубежных обратных клапанов, колеблющихся в зависимости от давления в сети, диаметра трубопровода и фирмы изготовителя.

2. При сравнении увеличения стоимости сезонного потребления электроэнергии 12863,53 руб. и стоимости зарубежных гасителей гидроударов (обратных клапанов), приведённых к годовой эксплуатации 4,113 млн руб., экономический эффект по одной исследованной насосной станции превышает используемую технологию в 319,7 раз.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Изучение современных схем монтажа гидромеханического оборудования на проектируемых и построенных мелиоративных насосных станциях позволило установить факт увеличения давления в трубопроводной сети, происходящего в основном при переходных процессах: пуске и отключении приводных двигателей, дополнительном пуске агрегатов при параллельном включении. Установлено, что из всех существующих гасителей скорости обратного потока воды наибольшее распространение, без гарантированной эксплуатационной эффективности, получили обратные клапана, установленные на напорных трубопроводах последовательно с задвижкой и закрывающиеся при обратном движении потока после остановки приводного двигателя.

Кроме того, указано, что наиболее вероятным из всех описанных методов расчёта величины гидравлического удара, является метод Н. А. Картвелишвили, позволяющий рассчитывать его величину в сечениях от максимального до нулевого момента времени.

2. На основе приведённых теоретических разработок предложен порядок расчёта и рассчитаны величины полных энергий в напорных трубопроводах для конкретной насосной станции «Междуречье» Изобильненского филиала ФГБУ «Управление» Ставропольмелиоводхоз», составляющие для основных агрегатов Д 6300-80, 86,34 м, для бустерного насоса К 90 / 85, 108,60 м. Установлена расчётная разница 22,26 м, позволяющая закрыть обратный клапан для предотвращения обратного потока и, как следствие, явления гидравлического удара.

При наличии линии рециркуляции, повышающей кавитационный запас, установлено, что значение кинетической энергии во всасывающем трубопроводе практически не изменяется, при явном увеличении потенциальной энергии до значения напора струйного аппарата 9,29 м. Установка струйных аппаратов на всасывающей линии и линии рециркуляции, повышающих высоту всасывания насосного оборудования, не оказывает влияния на полную энергию в напорном



трубопроводе, и при расчётах нет необходимости в её учёте.

3. Проведёнными экспериментальными исследованиями установлен предел возможной величины полной энергии в напорных трубопроводах 100-110 м для бустерных насосов.

Опытное определение величины полной энергии бустерного насоса  $\mathcal{E}_6 = 105,4$  м подтверждает возможность теоретического расчёта  $\mathcal{E}_{26} = 108,60$  м в пределах ошибки 2-3 %.

При подборе марки насоса, принимаемого в качестве бустерного, следует напор, независимо от подачи, завышать на 10-15 м по сравнению с напором основных насосов, для гарантированной возможности закрытия обратных клапанов на напорных трубопроводах перед остановкой основных насосов.

4. Настоящая технология предотвращения обратного движения воды с помощью бустерного насоса позволяет: усовершенствовать процесс и обосновать безаварийную эксплуатацию современных оросительных сетей; предотвратить создание условий для гидравлического удара при переходных процессах в трубопроводной сети; без использования дополнительного оборудования в насосной станции исключить обратный поток воды и гидравлический удар в сети методом предварительного закрытия обратного клапана на напорном трубопроводе; в случае необходимости повышения кавитационного запаса насосного оборудования технологическим процессом рассмотрена возможность использования линии рециркуляции и струйного аппарата на всасывающем трубопроводе.

5. Использование дополнительного насосного оборудования в виде бустерного насоса с повышенными гидравлическими параметрами, по сравнению с существующими, увеличивает сезонное потребление электроэнергии с одновременным увеличением стоимости эксплуатации гасителя гидравлического удара до 12863,53 руб., что несопоставимо с ценами российских и зарубежных обратных клапанов, колеблющимися в зависимости от давления в сети, диаметра трубопровода и фирмы изготовителя.

При сравнении увеличения стоимости сезонного потребления электроэнергии 12863,53 руб. и стоимости зарубежных гасителей гидроударов (обратных

клапанов), приведённых к годовой эксплуатации 4,113 млн руб., экономический эффект по одной исследованной насосной станции превышает используемую технологию в 319,7 раз.

### **РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ**

1. При реконструкции насосных станций или в случае выхода из строя обратных клапанов, установленных на напорных трубопроводах, необходимо провести замену бустерного насоса с обвязкой оборудования по предлагаемой технологии и напором, превышающим напор основных агрегатов на 10-15 м.

2. Проектным организациям при проектировании насосных станций для исключения возможности гидравлического удара в трубопроводной сети и увеличения срока службы устанавливаемых обратных клапанов необходимо исключить варианты наполнения трубопроводов основными агрегатами с использованием байпасов, что практически увеличит расход электроэнергии на 15-20 %, и предусмотреть варианты сброса воды в мокрый колодец перед остановкой станции на зимний период через бустерный насос.

3. При ремонтных работах, а также реконструкции насосных станций при врезке трубопроводов необходимо предусмотреть установку монтажных вставок с целью упрощения монтажа бустерного насоса.

### **ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ**

Дальнейшая разработка темы должна быть основана на исследованиях, направленных на экономическое обоснование замены существующих гасителей гидравлического удара на вариант с бустерными насосами и возможности предварительного закрытия обратных клапанов перед остановкой основного оборудования.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Абрамов, Н.Н. Расчет водопроводных сетей : учеб. пособие / Н.Н. Абрамов [и др.]. – М. : Стройиздат, 1983. – 278 с.
2. Автономов, Г.Е. Руководящие указания по расчету гидравлического удара : учеб. пособие / Г.Е. Автономов. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ВНИИГ, 1974. – 98 с.
3. Адлер, Ю.П. Введение в планирование эксперимента / Ю. П. Адлер. – М. : Металлургия, 1969. – 159 с.
4. Али, М.С. Особенности расчёта переходных процессов в водоводах насосных станций в условиях образования разрывов сплошности потока / М.С. Али, Д.С. Бегляров, Э.Е. Назаркин // Природообустройство. – 2020. – № 4. – С. 122-128.
5. Али, М.С. Решение практических задач с использованием модели насосов при переходных режимах в напорных системах / М.С. Али, Д.С. Бегляров, А.Ю. Титаева, Е.А. Лентяева // Природообустройство. – 2020. – № 1. – С. 100-103.
6. Алышев, В.М. Методика определения скорости волны гидравлического удара в многофазном потоке // Труды МГИ. – Т.61. – М, 1979. – С. 52-57.
7. Алышев, В.М. Неустановившиеся напорные движения реальной жидкости в трубопроводных системах : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М. : 1987. – 43 с.
8. Алышев, В.М. Расчет волновых колебательных процессов в трубопроводах на основе метода Л. Бержерона // Вопросы гидротехники и мелиорации : кратк. содержание докладов II науч.-техн. конф. аспирантов и молодых научн. работников, г. Тбилиси, 1966 г. – Тбилиси, 1966. – С. 135.
9. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Недра, 1982. – 224 с.
10. Андрияшев М.М. Графические расчёты гидравлического удара в водоводах. – М. : Стройиздат, 1969. – 63 с.

11. Аронович, Г.В. Гидравлический удар и уравнивательные резервуары : учебник / Г.В. Аронович, Н.А. Картвелишвили, Я.К. Любшицев. – М. : Наука, 1968. – 248 с.
12. Атавин, А.А. Численные методы расчета неустановившегося течения жидкости в сложных гидросистемах / А.А. Атавин, В.В. Тарасевич // Автоматизация закрытых оросительных систем : сб. ст. / под общ. ред. Н.А. Картвелишвили. – Новочеркасск, 1975. – С. 98-106.
13. Бегляров, Д.С. Анализ и учет особенностей структуры напорных систем водоснабжения при расчете переходных процессов / Д.С. Бегляров, Э.Е. Назаркин, А.М. Бакштанин // Природообустройство. – 2019. – № 4. – С. 91-94.
14. Бегляров, Д.С. Методика расчета переходных процессов в напорных системах водоподачи при пусках насосных агрегатов / Д.С. Бегляров, Д.Ш. Апресян // Природообустройство. – 2012. – № 2. – С. 69-72.
15. Бегляров, Д.С. Методика расчета переходных процессов с учетом клапанов для пуска и защемления воздуха, и длины зоны разрыва сплошности потока / Д.С. Бегляров, И.Ю. Сахаров // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С. 76-80.
16. Бегляров, Д.С. Расчётно-теоретические исследования переходных процессов в закрытой оросительной системе / Д.С. Бегляров, С.Ю. Переверзев // Природообустройство. – 2012. – № 4. – С. 52-57.
17. Бегляров, Д.С. Расчетно-теоретические исследования пуска насосного агрегата на заполненный трубопровод / Д.С. Бегляров, М.С. Али // Транспорт, логистика, природопользование : материалы Междунар. науч.-практ. конф. / Гос. инж. ун-т Армении. – Ереван: Арменпак, 2015. – С. 83-88.
18. Блохин, В.И. Гидравлический удар в цилиндрической оболочке, ограниченной равномерным слоем упругого грунта / В.И. Блохин, А.И. Стрикалов // Автоматизация закрытых оросительных систем : сб. ст. / Под общ. ред. Н.А. Картвелишвили. – Новочеркасск, 1975. – С. 178-187.
19. Блохин, В.И. К вопросу о практических расчетах гидравлического удара в напорных оросительных сетях // Автоматизация закрытых оросительных

систем : сб. ст. – Т. XV. – Вып. 9. – Новочеркасск, 1976. – С. 100-113.

20. Блохин, В.И. Расчёт гидравлического удара в сложной напорной оросительной сети с учётом и без учёта защитных устройств // Автоматизация закрытых оросительных систем : сб. ст. – Т. XV. – Вып. 9. – Новочеркасск, 1976. – С. 3-28.

21. Блохин, В.И. Расчёт гидравлического удара в сложных напорных системах методом суммирования комплексных волн движения // Автоматизация закрытых оросительных систем : сб. ст. – Т. XVI. – Вып. 9. – Новочеркасск, 1976. – С. 65-83.

22. Быков, В.М. Указание по защите водоводов от гидравлического удара. – М. : 1961. – 225 с.

23. Ведомственные строительные нормы ВСН 33-2.2.12-87 Мелиоративные системы и сооружения. Насосные станции. Нормы проектирования" : утв. приказом Министерства мелиорации и водного хозяйства СССР от 31 декабря 1987 г. № 442.

24. Вишневский, К.П. Моделирование переходных процессов в сложных напорных системах с насосными станциями : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Л.: 1988. – 37 с.

25. Вишневский, К.П. Переходные процессы в напорных системах водоподачи. – М. : Агропромиздат, 1986. – 133 с.

26. Вишневский, К.П. Расчет гидравлического удара в закрытых оросительных системах // Сельскохозяйственная мелиорация : сб. ст. – Вып. 55. – М. : МГМИ, 1979. – С. 135-141.

27. Вишневский, К.П. Расчет гидравлического удара при установке в промежуточных точках водовода обратных клапанов с обводными линиями // Организация и методика строительного проектирования : реферативная информация; - Серия X. – Вып. 14. – М., 1973. – С. 200-225.

28. Вишневский, К.П. Расчёт переходных процессов, связанных с явлением гидравлического удара // Гидравлика : сб. науч. тр. – Вып. 23. – М., 1973. – С. 96-103.

29. Вишневский, К.П. Экспериментальные исследования влияния в сложных напорных системах с насосными станциями : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Л., 1988. – 37 с.
30. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях. – М. : Статистика, 1974. – 192 с.
31. Газаров, А.Р. Гидравлический удар в трубопроводах: расчёт и предотвращение / А.Р. Газаров, Р.А. Колосов, Е.И. Ховрина // Известия Тульского государственного университета. – 2019. – № 12. – С. 557-559.
32. Гончаренко В.А. Исследование защиты водоводов от гидравлического удара впуском воды // Межотраслевые вопросы строительства / ЦНИИС Госстрой СССР. – Вып. 7. – М., 1972.
33. Грань, Ю.И. Клапан управления запорным органом задвижек и затворов с гидроприводом / Ю.И. Грань, Э.В. Фишер, Ф.И. Гончаров. – Информлисток. – Киев : Реклама, 1986.
34. Гурин, В.А. Аварийные повреждения трубопроводов закрытой оросительной сети, Бортнической оросительной системы / В.А. Гурин, О.Г. Григорович // Гидромелиорация и гидротехническое строительство : Респ. межвед. науч.-техн. сб. Вып. 15. – Львов, 1987. – 11 с.
35. Гурин, В.А. Исследования работы оросительных трубопроводов и улучшения их эксплуатации: (На прим. Нижне-Днестров. оросит. системы) : автореф. дис. ... канд. техн. наук : (06.01.02). – М., 1981. – 18 с.
36. Дикаревский, В.С. Гаситель гидравлических ударов И.И. Лапшина / В.С. Дикаревский, В.П. Зырянов, А.Е. Татура // Противоударная защита закрытых оросительных сетей. – М. : Колос, 1981. – С. 32-34.
37. Дикаревский, В.С. Мероприятия для аварийной защиты трубопроводов от гидравлических ударов : обзорная информация № 14 / В.С. Дикаревский, В.П. Зырянов, А.Е. Татура. – М. : 1983.
38. Дикаревский, В.С. Противоударная защита закрытых оросительных сетей / В.С. Дикаревский, В.П. Зырянов, А.Е. Татура. – М. : Колос, 1981. – 80 с.

39. Дикаревский, В.С. Разрывные мембраны для аварийной защиты водоводов от гидравлического удара // Водоснабжение и санитарная техника. – 1975. – № 3. – С. 8-10.
40. Дождевальная машина «Фрегат» ДМУ : Доп. 3 к руководству по эксплуатации ДМУ-00.000РЭ. Комплект системы гидравлической защиты машины «Фрегат» ДМУ-00.000РЭ доп.3. – М., 1979. – 10 с.
41. Дождевальная машина «Фрегат» ДМУ : Руководство по эксплуатации. – М., 1979. – 74 с.
42. Егiazаров, И.В. Моделирование явлений неустановившегося волнового движения безнапорного и напорного потоков // Известия АН СССР. – 1953. – № 10. – С. 33-39.
43. Егiazаров, И.В. О моделировании энергосистемы и гидравлического удара // Известия АН СССР. – 1958. – № 10.
44. Есин, А.И. Исследование работы запорного устройства / А.И. Есин, Н.М. Кошкин // Совершенствование методов гидравлических расчётов водопропускных и очистных сооружений : Межвуз. сб. науч. тр. / СГТУ. – Саратов, 1996. – С. 76-79.
45. Есин, А.И. Снижение ударного давления путем изменения скорости закрытия запорного органа / А.И. Есин, Н.М. Кошкин // Совершенствование методов гидравлических расчётов водопропускных и очистных сооружений : Межвуз. сб. науч. трудов / СГТУ. – Саратов, 1977. – С.77-81.
46. Жмудь, А.Е. Гидравлический удар в гидротурбинных установках. – М.: Госэнергоиздат, 1953. – 253 с.
47. Жонкобилов, У.У. «Отрицательный» гидравлический удар с воздушно-гидравлическими колпаками : автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.14.09. – М., 1988. – 23 с.
48. Жуковский, Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах. – М.-Л., 1949. – 146 с.
49. Закрытые оросительные системы : методическое указание по оценке надёжности / Всесоюз. проектно-изыскательское и научно-исследовательское

объединение. «Союзводпроект». – Москва, 1980. – 25 с.

50. Запорная задвижка для трубопроводов. – Патент № 1121104, ФРГ, м/ф № 34.

51. Запорная задвижка для трубопроводов. – Патент № 1228479, ФРГ, м/ф № 40.

52. Запорный клапан : а.с. 114836 РФ / А.В. Давыдов, А.А. Давыдов: заявл. 25.07.1957.

53. Защита трубопроводов оросительных систем от гидравлических ударов : обзорная информация № 14 / Р.Д. Климник [и др.]. – М., 1983. – 51 с.

54. Зубкова, Н.Г. О гидравлическом ударе в оросительных системах // Дождевальные машины и оборудование для орошения сельскохозяйственных культур. – М., 1971. – С. 15.

55. Зузик, Д.Г. Экономика водного хозяйства. – М. : Колос, 1973. – 34 с.

56. Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М. : Стройиздат, 1979. – 31 с.

57. Инструкция по эксплуатации гидравлической системы аварийной защиты / ВолжНИИГиМ. – Саратов, 1987. – 14 с.

58. Инструкция по эксплуатации задвижки обратного клапана ЗКМ-200. – Коломна, 1978.

59. Использование бустерного насоса в качестве дополнительного насосного агрегата при гашении гидравлического удара в напорных трубопроводах / В.Н. Ширяев, Ю.С. Уржумова, С. А. Тарасьянц, Н.О. Ширяева // Вестник Рязанского гос. агротехнолог. ун-та им. П.А. Костычева. – 2020. – № 4 (48). – С. 134-147.

60. Картвелишвили Н.А. Современное состояние гидравлической теории неустановившихся потоков по работам в СССР // Изв. АН СССР. Механика и машиностроение. – 1961. – № 3. – С. 26-36.

61. Картвелишвили, Л.Н. Принципы расчета гидравлического удара и их развитие // Природообустройство. – 2012. – № 4. – С. 72-77.



62. Картвелишвили, Н.А. Современные задачи теории гидравлического удара / Н.А. Картвелишвили, Д.А. Догондзе // Автоматизация закрытых оросительных систем : сб. ст. / Под общ. ред. Н.А. Картвелишвили. – Новочеркасск, 1975. – С. 3-10.
63. Кошкин, Н.М. Устройство для гашения гидравлических ударов : а.с. № 1125432 СССР : МПК F16L 55/02 / Н.М. Кошкин, В.С. Разуваев. – заявл. 23.11.1984, опубл. 23.12.19984. – Бюл. № 43.
64. Кулагин, В.А. Кавитация в элементах запорной арматуры трубопроводных систем / В.А. Кулагин, Н.Ю. Соколов // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2014. – № 7. – С. 872-880.
65. Лопа, И.В. Расчёт прочности трубопровода при гидравлическом ударе / И.В. Лопа, Н.Е. Проскуряков // Известия Волгоградского гос. технич. ун-та. – 2017. – № 9. – С. 17-20.
66. Лямаев, Б.Ф. Влияние некоторых параметров математической модели на результаты расчёта гидравлического удара // Совершенствование технологии проектно-изыскательских работ на основе АСУ и применение электронно-вычислительной техники : науч. тр. Ленгипроводхоз. – Вып. 6. – Л.: 1976, – С. 76-89.
67. Масляков, И.М. Инструкция по эксплуатации опытной партии задвижек с гидроприводом для закрытых оросительных систем / И.М. Масляков, Н.Ф. Котельников. – Саратов, 1989.
68. Масляков, И.М. Разработка и исследование безударного запорного устройства для трубопроводов закрытых оросительных систем // Эксплуатация оросительных систем Поволжья : сб. науч. тр. ВолжНИИГиМ. – М., 1987. – С. 119-123.
69. Математическое моделирование гидравлического удара в закрытых оросительных системах Приволжской оросительной системы / Ю.С. Васильев, И.В. Зубарев, В.А. Кукушкин, В.Н. Логинов // Автоматизация закрытых оросительных систем : сб. ст. / Под общ. ред. Н.А. Картвелишвили. – Новочеркасск, 1975. – С. 112-117.

70. Махарадзе, Л.И. Гидравлический удар в трубопроводах при транспортировании многофазных гидросмесей / Л.И. Махарадзе, Г.И. Кирмелашвили. – Тбилиси : Мецниерба, 1996. – 232 с.
71. Махарадзе, Л.И. Руководство по защите напорных гидротранспортных систем от гидравлических ударов. – Тбилиси, Мецниереба, 1981. – 151 с.
72. Мелконян, Г.И. Расчет гидравлического удара, возникающего в сложной водопроводной сети // Автоматизация закрытых оросительных систем : сб. ст. / Под общ. ред. Н.А. Картвелишвили. – Новочеркасск, 1975. – С. 106-112.
73. Мембранный гаситель гидравлических ударов / В.Д. Климник, М.А. Палишкин // Защита трубопроводов оросительных систем от гидравлических ударов : обзорн. информация. – М., 1983. – С. 48-50.
74. Методы расчёта режимов движения жидкости в напорных системах / В.Н. Ширяев, С.А. Тарасьянц, Н.О. Ширяева, А.Н. Паненко // European Multi Science Journal, 2018. – С. 35-39.
75. Мирцхулава, Ц.Е. Надежность гидромелиоративных сооружений. – М. : Колос, 1974. – 53 с.
76. Мостков, М.А. Гидравлика : учебник. – М. : Трасжелдориздат, 1958. – 185 с.
77. Мостков, М.А. Гидравлический удар в гидроэлектрических станциях. – М.-Л. : ГОНТИ, 1938. – 148 с.
78. Мостков, М.А. Расчёты гидравлического удара : учеб. пособие / М.А. Мостков, А.А. Башкиров. – М. : Государственное энергетическое издательство, 1952. – 200 с.
79. Мошнин, Л.Ф. О пуске насосов на открытую задвижку и установка клапанов на напорной линии // Водоснабжение и санитарная техника. – 1959.
80. Мошнин, Л.Ф. Повышение давления при гидравлических ударах, сопровождающихся разрывами сплошности потока / Л.Ф. Мошнин, Е.Т. Тимофеева // Водоснабжение и сантехника : сб. науч. тр. – Вып. 7. – М. : 1965. – С. 15-28.

81. Мошнин, Л.Ф. Руководство по расчёту средств защиты водоводов от гидравлических ударов : учебное пособие / Л.Ф. Мошнин. – М. : ВНИИВОД ГЕО, 1970. – 82 с.
82. Номенклатурный каталог-справочник по трубопроводной арматуре / Мос. центр. констр. бюро Арматуростроения. – М., 2006. – 1180 с.
83. Павлюков, Е.М. Автоматизация закрытых оросительных систем с ДМ «Фрегат» // Мелиорация орошаемых земель и использование водных ресурсов: сб. науч. тр. / ЮжНИИГиМ. – Новочеркасск, 1987. – С.133-139.
84. Павлюков, Е.М. Пути повышения эксплуатационной надёжности дождевальных машин «Фрегат» и перевод их на групповое управление // Проектирование и эксплуатация мелиоративных земель на Северном Кавказе : науч. тр. Госгипроводхоз, Севкавказгипроводхоз. – М., 1979. – Вып. 4. – С. 197-200.
85. Павлюков, Е.М. Система управления групповой работой ДМ «Фрегат» // Мелиорация и водное хозяйство. – 1989. – № 2. – С. 29-31.
86. Палишкин, Н.А. Исследование гидравлического удара в закрытых оросительных системах / Н.А. Палишкин, Л.С. Геращенко // Научные исследования по гидротехнике: сб. науч. тр. – Л., 1973. – Т. 2. – С. 335-337.
87. Пашков, П.В. Методы расчёта всасывающих трубопроводов при заполнении перед пуском насосного агрегата: сборник научных трудов / П.В. Пашков, В.О. Шевченко // Наука и молодёжь : сб. науч. тр. – Новочеркасск, 2018. – С. 86-89.
88. Пашков, П.В. Теория расчёта кавитационного запаса центробежных насосов / П.В. Пашков, С.А. Тарасьянц // Проблемы развития АПК региона. – 2018. – № 3 (35). – С. 146-150.
89. Пикулин, В.И. Натуральные исследования гидравлического удара в водоводах насосных станций // Труды ВОДГЕО. – Вып. 25. – М., 1970. – С. 13-139.
90. Померанцев В.Н. Основы проектирования и эксплуатации водоводов на базе системного анализа : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.07 / ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. – Симферополь, 1990. – 44 с.

91. Правила применения регулирующей и предохранительной арматуры мембранного типа при проектировании закрытых оросительных систем. Утв. Минводхозом УССР 12.1984 г. / Ю.И. Гринь, Н.А. Куделя, Ф.И. Гончаров, В.В. Лелявский, В.К. Гарник. – Киев, 1984. – 81 с.

92. Прейскурант трубопроводной арматуры Уральского арматурного завода 1999-2021 [Электронный ресурс] // ООО "УАЗ". – URL: <https://uaz74.ru/product/zapornaya-armatura/> (дата обращения: 08.03.2021).

93. Пружинно-гидравлический гаситель гидравлических ударов // Защита трубопроводов оросительных систем от гидравлических ударов : обзорн. информация. – М., 1983. – С. 43-45.

94. Пути снижения энергетических затрат на насосных станциях мелиоративного назначения / С.А. Тарасьянц, О.И. Рахнянская, А.С. Тарасьянц, Ю.В. Бандюков, Ю.С. Уржумова, Д.С. Ефимов, Р.Р. Мазанов // Проблемы развития АПК региона. – 2016. – № 2 (26). – С. 67-75.

95. Разработка и освоение в мелиоративных системах АПК России комплекса мер, обеспечивающих безопасное состояние мелиоративных систем и сооружений, качество техники и технологии орошения, эффективное использование мелиорированных земель : отчёт о НИР : № ГР 01200117513. Инв. № 02200108706/ ГУ «ЮжНИИГиМ», рук. С.А. Тарасьянц. – Новочеркасск, 2001. – 135 с.

96. Расценки на работы по ремонту энергетического оборудования, адекватные условиям функционирования конкурентного рынка услуг по ремонту и техперевооружению / ОАО «ЦКБ Энергоремонт». – М., 2004. – 20 с.

97. Рафаэлян, Р.М. Исследование и расчет неустановившихся процессов в нагнетательных трубопроводах насосных станций систем водоснабжения : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.09. – М., 1978. – 17 с.

98. Рекомендации для применения и эксплуатации высоконадежных средств аварийной защиты ДМ «Фрегат». – Энгельс, 1996. – 22 с.

99. Рекомендации по применению арматуры мембранного типа на закрытых оросительных системах. – Киев, 1981. – 78 с.

100. Рекомендации по расчёту гидравлического удара в закрытых напорных оросительных сетях. – Киев, 1977. – 44 с.
101. Рекомендации по техническому обслуживанию трубопроводной сети и арматуры. – Коломна, 1979, - 16 с.
102. Рекомендации по эксплуатации регуляторов давления, запорной и противоударной арматуры на закрытых оросительных системах. – Саратов, 1983. – 24 с.
103. Ржаницын, Н.А. Водоструйные насосы / Н.А. Ржаницын. – М. : Энергоиздат, 1980. – 176 с.
104. Рычагов, В.В. Насосы и насосные станции / В.В. Рычагов, М.М. Флоринский. – М. : Колос, 1975. – 200 с.
105. Салахов, Ф.С. Самонапорная система орошения дождеванием : учебное пособие / Ф.С. Салахов, С.Х. Гусейн-Заде. – М. : Колос, 1964. – 127 с.
106. Севастьянов, М.И. Технологические трубопроводы нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводов. – М. : Химия, 1972. – 24 с.
107. Смирнов, Д.Н. Гидравлический удар в напорных водоводах. – М. : Стройиздат, 1975. – 126 с.
108. Смирнов, Д.Н. Гидравлический удар, сопровождающийся кавитацией потока (экспериментальные исследования) // Автоматизация закрытых оросительных систем : сб. ст. / Под общ. ред. Н.А. Картвелишвили. – Новочеркасск, 1975. – С. 118-122.
109. Соколовский, С.В. Повышения давления в трубопроводе от гидравлического удара при нарушении сплошности движения / С.В. Соколовский, С.И. Мищенко // Гидравлика и гидротехника : сб. науч. тр. Вып. 18. – М., 1974. – 327 с.
110. Способ борьбы с гидроударом в напорных трубопроводах центробежных насосов : пат № 2689652 РФ, МПК F04D 13/12 / В.Н. Ширяев, Ю.С. Уржумова, С.А. Тарасьянц. – № 2018111305; заявл. 15.12.2017; опубл. 28.05.2019. - Бюл. № 16.
111. Справочник по гидравлическим расчётам / Под ред. П.Г. Киселева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1972. – 352 с.

112. Стальная арматура : каталог. Вып. 6. – М.-Л. : Наркомтяжпром, 1937. – 154 с.
113. Станюкович, К.П. Неустановившееся движение сплошной среды. – М. : Гостехиздат, 1955. – 856 с.
114. Степанов П.И. Справочник по гидравлике для мелиораторов. – М. : Колос, 1984. – 106 с.
115. Строев, М.П. Некоторые элементы явления гидравлического удара // Труды НИМИ. Вып. 8. – Новочеркасск, 1973. – С. 34-36.
116. Сурин, А.А. Гидравлический удар в водопроводах и борьба с ним : учебник. – М. : изд-во и 1-я тип. Трансжелдориздата, 1946. – 371 с.
117. Сурин, А.А. Гидравлический удар в наклонном трубопроводе // Сборник трудов ЛИИЖТ. – Л. : ЛИИЖТ, 1964. – Вып. 220. – С. 65-71.
118. Тарасьянц, С.А. Сравнительные исследования энергетической эффективности кольцевого струйного насоса с двухповерхностной рабочей струей / С.А. Тарасьянц, В.В. Александров // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2009. – № 7. – С. 39-41.
119. Технологический процесс пуска и остановки насосного оборудования при необходимости предотвращения обратного тока воды и гашения гидравлического удара методом увеличения потенциальной энергии в напорном трубопроводе / В.Н. Ширяев, Ю.С. Уржумова, В.В. Трушев, С.А. Тарасьянц // Научные исследования стран ШОС: Синергия и интеграция: сб. науч. тр. Международ. конф., 16 сентября 2020 г. – Пекин, Инфинити, 2020. – С. 170-175.
120. Титова, Л.В. Расчет гидравлического удара в магистрали с тупиком по методу Н.А. Картвелишвили // Труды НИМИ. Вып. 8. – Новочеркасск, 1973. – С. 58-69.
121. Указания по защите водоводов от гидравлических ударов при помощи автоматических гасителей / УкрВОДГЕО. – Киев : Госстройиздат УССР, 1960. – 22 с.
122. Указания по защите водоводов от гидравлического удара. – М. : Госстройиздат, 1961. – 227 с.

123. Устройство для гашения гидравлических ударов : информ. листок № 369-89 / Саратовский межотраслевой территориальный центр ЦНТИ. – Саратов, 1985. – 2 с.
124. Фартуков, В.А. Исследование нестационарных гидравлических процессов в напорных трубопроводах мелиоративных систем : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.09. – М., 1982. – 20 с.
125. Фомин, Г.Е. Дискретная задвижка с гидроприводом / Г.Е. Фомин, А.А. Алдошкин // Основные вопросы совершенствования техники и технологии поливов : науч. тр. / ВНПО «Радуга». – М., 1981. – С. 142-156.
126. Фомин, Г.Е. К вопросу расчёта гидравлического удара с учётом сил упругости возникающих в трубопроводе // Науч. труды / ВНИИМиТП. – Коломна, 1970. – С. 155-161.
127. Фомин, Г.Е. Рекомендации по техническому обслуживанию трубопроводной сети / Г.Е. Фомин, А.А. Алдошкин. – Коломна, 1979. – 16 с.
128. Фридман, В.Э. Гидроэлеваторы. – М. : Машгиз, 1960. – 323 с.
129. Хатковский, Е.М. Гидравлический удар в трубопроводе с вязкой жидкостью при произвольном законе закрытия затвора / Е.М. Хатковский // Гидротехнические сооружения : сб. науч. тр. – Л. : Энергия, 1972. – С. 89-96.
130. Чемидов, П.П. Переходные процессы в напорных трубопроводах с воздушно-гидравлическими колпаками : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.09. – М., 1986. – 19 с.
131. Ширяев, В.Н. Методика расчёта полной энергии во всасывающих и напорных трубопроводах основных агрегатов на мелиоративных насосных станциях [Электронный ресурс] / В.Н. Ширяев, Ю.С. Уржумова, С.А. Тарасьянц // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2021. – № 1 (11). – С. 162-173. – URL: [http://www.rosniipm-sm.ru/dl\\_files/udb\\_files/udb4-rec1184-field12.pdf](http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1184-field12.pdf).
132. Экономическое обоснование использования бустерных насосов для предотвращения обратного тока воды при остановках насосного оборудования / В.Н. Ширяев, Ю.С. Уржумова, В.В. Трушев, С.А. Тарасьянц // Научно-практические аспекты развития АПК: сб. науч. тр. Междунар. науч. конф.

«Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России», 18-19 нояб. 2020 г. – Красноярск: ФГБОУ ВО «Красноярский ГАУ», 2020. – С. 53-59.

133. Budea, S. Study of Mass Water Oscillations and Water Hammer Occurrence in Hydraulic Installations (Исследование массовых колебаний воды и возникновения гидроударов в Гидроустановках) // *Hidraulica* . – 2019. – Is. 2. – P. 29-35.

134. Danciu, D. Stability conditions in a water hammer model involving two delays (Условия устойчивости в модели гидроудара с двумя задержками) / D. Danciu, F. Stinga // 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC) System Theory, Control and Computing (ICSTCC), 2019 23rd International Conference. – 2019. – P. 586-591.

135. Design of water supply system from rivers using artificial intelligence to model water hammer (Проектирование системы водоснабжения из рек с использованием искусственных интеллектов для моделирования гидроудара) / A.H. Salimi [et al.] // *Journal of Hydraulic Engineering*. – 2020. – Vol. 26, Is. 2. – P. 153-162. – DOI: 10.1080/09715010.2018.1465366.

136. Experimental Assessment of Water Hammer-Induced Column Separation in Oil-Hydraulic Pipe Flow (Экспериментальная оценка Гидроударного разделения колонн в потоке нефть-гидравлическая труба) / M. Jansson, M. Andersson, M. Pettersson, M. Karlsson // *Journal of Fluids Engineering*. – 2019. – Vol. 141, Is. 10. – P. 1-9. – DOI:10.1115/1.4043854.

137. Fluid-Structure Interaction Response of a Water Conveyance System with a Surge Chamber during Water Hammer (Реакция взаимодействия текучей структуры системы транспортировки воды с пульсационной камерой при гидроударе) / Qiang Guo; Jianxu Zhou; Yongfa Li; Xiaolin Guan; Daohua Liu; Jian Zhang // *Water*. – 2020. No 12 (4). – P. 1025. – DOI:10.3390/w12041025.

138. Gietka, N.K. Experimental studies on the impact of changing the pipe material on the propagation of the pressure wave during water hammer (Экспериментальные исследования влияния изменения материала трубы на распространение волны давления при гидроударе) // *Acta Scientiarum Polonorum*.



Formatio Circumiectus. – 2019. – Vol. 18, Is. 1. – P. 15-26. – DOI:10.15576/ASP.FC/2019.18.1.15

139. Goldman, O.G. Water hammer : Its cause, magnitude, prevention (Гидроудар: его причина, величина, профилактика) / By Oscar G. Goldman ... – Columbia, Con. : Columbia graphs, 1953. – 116 p.

140. Low-Dimension Robust Computational Algorithm for a Linear Distributed Parameter Water Hammer Model (Маломерный робастный вычислительный алгоритм для линейной распределенной параметрической модели гидроудара) / D. Danciu, D. Popescu, V. Rasvan // 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC) System Theory, Control and Computing (ICSTCC). – 2019. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/336945852\\_Low-Dimension\\_Robust\\_Computational\\_Algorithm\\_for\\_a\\_Linear\\_Distributed\\_Parameter\\_Water\\_Hammer\\_Model](https://www.researchgate.net/publication/336945852_Low-Dimension_Robust_Computational_Algorithm_for_a_Linear_Distributed_Parameter_Water_Hammer_Model) .

141. Lowy R. Druckschwankungen in Druckrohrleitungen (Колебания давления в напорных трубопроводах). – Wien, 1928.

142. Mechanics of secondary waterhammer waves (Механика вторичных гидроударных волн) / By Prof. Y. K. Gayed and M. Y. M. Kamel. – London, 1959. – 675-686 p.

143. Method for determination of water hammer conditions and consequences in pressurizers of nuclear reactors (Способ определения условий и последствий гидроудара в нагнетателях ядерных реакторов) / V. Skalozubov [et al.] // Turkish Journal of Physics. – 2019. – Vol. 43, Is. 3. – P. 229-235.

144. Modeling water hammer in viscoelastic pipes using the wave characteristic method (Моделирование гидроудара в вязкоупругих трубах методом волновой характеристики) / Abdel-Gawad Hossam A.A.; Djebedjian, Berge // Applied Mathematical Modelling . – 2020. – Vol. 83. – P. 322-341.

145. Water hammer analysis when switching of parallel pumps based on contraction check valve (Анализ гидроудара при переключении параллельных насосов на основе обратного клапана с обратным движением) / Zh. Yang [et al.] // Annals of Nuclear Energy. – 2020. – Vol. 13. – 107275. – DOI: 10.1016/j.anucene.2019.107275.

146. Water Hammer Control Analysis of an Intelligent Surge Tank with Spring Self-Adaptive Auxiliary Control System (Анализ управления гидроударом интеллектуального пульсационного бака с пружинной Самоадаптивной вспомогательной системой управления) / W. Wuyi [et al.] // *Energies*. – 2019. – Vol 12, Is. 13. – P. 2527.

147. Water hammer in pipeline with different characteristics of valve closing and unsteady wall friction (Гидравлический удар в трубопроводе с различными характеристиками закрытия клапана и нестационарным трением стенки) / J. Haixiao, W. Wen, L. Guodong // *Civil Engineering Journal*. – 2019. – Is. 1. – P. 116-130.

148. Water Hammer Investigation of the Shut-Down of a High-Head Hydropower Plant at Very High Reynolds Number Flows (Гидроударное исследование остановки высоконапорной гидроэлектростанции при очень высоких значениях числа Рейнольдса) / U. Karadžić [et al.] // *Journal of Mechanical Engineering*. – 2019. – Vol. 65, Is. 7/8. – P. 430-440. – DOI: 10.5545/sv-jme.2019.6092.

149. Záruba, Josef. Water hammer in pipe-line systems (Гидроудары в трубопроводных системах) / *Czechosl. acad. of sciences*. – Prague : Academia, 1993. – 362 s.

## СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

|  |    |
|--|----|
| Рисунок 1.1 – Конструктивная схема установки оборудования насосной станции с положительной высотой всасывания и гасителем гидравлического удара водовоздушным колпаком .....                 | 11 |
| Рисунок 1.2 – Схема распространения волн повышения давления по напорному трубопроводу .....  | 13 |
| Рисунок 1.3 – Общий вид обратного клапана, используемого на напорных трубопроводах мелиоративных насосных станций .....  | 14 |
| Рисунок 1.4 – Арзгирская головная насосная станция Ставропольского края после аварии в результате гидравлического удара в напорном трубопроводе (2 июня 2017 год) .....                      | 15 |
| Рисунок 1.5 – Обратные клапаны с обводной линией сброса воды .....   | 15 |
| Рисунок 1.6 – Специальные устройства гашения гидравлических ударов .   | 16 |
| Рисунок 1.7 – Устройство для впуска воды .....   | 16 |
| Рисунок 1.8 – Внешний вид резервуара – гасителя повышенного давления в напорных трубопроводах .....  | 17 |
| Рисунок 1.9 – Схема волн гидравлического удара в трубопроводе .....  | 19 |
| Рисунок 1.10 – Направление волны в тройнике .....  | 20 |
| Рисунок 2.1 – Общий внешний вид насосной станции «Междуречье» .....  | 27 |
| Рисунок 2.2 – Шандорное перекрытие насосной станции «Междуречье» .   | 27 |
| Рисунок 2.3 – Технологическая схема установки основного и вспомогательного оборудования всасывающих и напорных трубопроводов .....   | 29 |
| Рисунок 2.4 – Фактические рабочие параметры насоса Д 6300-80 с тремя линиями всасывающего трубопровода и двумя нитями напорного трубопровода (при работе одного агрегата на одну нить) ..... | 32 |
| Рисунок 2.5 – Фактические рабочие параметры насоса Д 6300-80 с тремя линиями всасывающего трубопровода и двумя нитями напорного трубопровода (при работе двух агрегатов на одну нить) .....  | 33 |

|  |    |
|--|----|
| Рисунок 2.6 – Фактические рабочие параметры насоса Д 6300-80 с тремя линиями всасывающего трубопровода и двумя нитями напорного трубопровода (при работе трёх агрегатов на одну нить) .....  | 34 |
| Рисунок 2.7 – Фактические рабочие параметры насоса Д 6300-80 с тремя линиями всасывающего трубопровода и двумя нитями напорного трубопровода (при работе трёх агрегатов на две нити) .....   | 35 |
| Рисунок 2.8 – Расположение бустерного агрегата на исследуемой насосной станции «Междуречье» .....  | 40 |
| Рисунок 2.9 – Фактические рабочие параметры бустерного насоса К 90 / 85  | 40 |
| Рисунок 2.10 – Схема установки струйного аппарата во всасывающем трубопроводе основного насоса .....   | 44 |
| Рисунок 3.1 – Общий внешний вид насосной станции «Междуречье» .....  | 50 |
| Рисунок 3.2 – Внутренний вид обвязки бустерного агрегата, установленного на насосной станции «Междуречье» .....  | 50 |
| Рисунок 3.3 – Схема установки оборудования на исследуемой насосной станции .....   | 51 |
| Рисунок 3.4 – Схема водозаборного сооружения и установленного гидромеханического оборудования в насосной станции .....   | 52 |
| Рисунок 3.5 – Технологическая схема установки основного оборудования и бустерного насоса .....   | 53 |
| Рисунок 3.6 – Схема установки бустерного насоса для предотвращения гидравлического удара и поддержания постоянного давления в сети .....   | 54 |
| Рисунок 3.7 – Опытное определение величины вакуума на всасывающем трубопроводе бустерного насоса .....   | 56 |
| Рисунок 3.8 – Манометр для определения потенциальной энергии бустерного насоса в напорном трубопроводе .....   | 57 |
| Рисунок 3.9 – Характеристика бустерного насоса К 90 / 85 (напорной-расходной $H_6 = f(Q_6)$ ; КПД – $\eta_6 = f(Q_6)$ ; допустимой вакуумметрической высоты всасывания $H_{\text{доп.6}}^{\text{вак}} = f(Q_6)$ и потребляемой мощности $N_6 = f(Q_6)$ ) ..... | 60 |

|   |    |
|---|----|
| Рисунок 3.10 – Расходомер для определения расхода в напорном магистральном трубопроводе .....   | 60 |
| Рисунок 3.11 – Характеристика основного насоса Д 6300-80 2 (напорно-расходный $H_0 = f(Q_0)$ , КПД – $\eta_0 = f(Q_0)$ , допустимой вакуумметрической высоты всасывания $H_{\text{доп}}^{\text{вак}} = f(Q_0)$ и потребляемой мощности $N_0 = f(Q_0)$ ) ..... | 62 |
| Рисунок 3.12 – Кривая зависимости степени влияния исследованных факторов на потенциальную энергию в напорном трубопроводе основного агрегата перед обратным клапаном .....  | 67 |
| Рисунок 3.13 – Графическая зависимость потенциальной энергии перед обратным клапаном основного насоса Н от величины потенциальной энергии в напорных трубопроводах бустерного $\Pi_2$ и основного насоса $\Pi_3$ .....  | 69 |
| Рисунок 4.1 – Технологическая схема установки оборудования на исследуемой насосной станции «Междуречье» .....   | 73 |
| Рисунок 4.2 – Зависимость полной энергии в трубопроводе от подачи одного основного насоса на один трубопровод .....   | 76 |
| Рисунок 4.3 – Зависимость полной энергии в трубопроводе от подачи двух основных насосов на один трубопровод .....   | 76 |
| Рисунок 4.4 – Зависимость полной энергии в трубопроводе от подачи бустерного насоса .....   | 77 |
| Рисунок 4.5 – Схема насосной установки с положительной высотой всасывания с использованием струйного аппарата и линией рециркуляции .....   | 79 |
| Рисунок 4.6 – Схема установки оборудования на насосной станции с линией рециркуляции и бустерным насосом .....  | 81 |
| Рисунок 4.7 – Схема трубопроводной обвязки насосной станции, оборудованной бустерным насосом, линией рециркуляции и передвижной насосной станцией .....   | 82 |
| Рисунок 5.1 – Типовая мелиоративная насосная станция для закрытой сети с положительной высотой всасывания, основными и бустерными насосами .....  | 85 |
| Рисунок 5.2 – Схема заполнения закрытой сети через байпасный трубопровод .....  | 86 |

|   |    |
|---|----|
| Рисунок 5.3 – Характеристика консольного насоса К 90 / 55, $n = 48,3 \text{ с}^{-1}$ ,<br>$D_{\text{р.к.}} = 218 \text{ мм}$ .....  | 87 |
| Рисунок 5.4 – Зависимость увеличения стоимости эксплуатации<br>принимаемого бустерного насоса от срока эксплуатации .....   | 91 |
| Рисунок 5.5 – Зависимость увеличения затраченной электроэнергии<br>принятого бустерного насоса от срока эксплуатации .....  | 91 |
| Рисунок 5.6 – Общий вид клапанов для гашения гидроударов Bermad<br>(Израиль) .....  | 92 |
|   |    |
| Таблица 2.1 – Расчётные данные по определению удельного сопротивления<br>трёх участков сети (всасывающего, напорного распределительного и напорного<br>магистрального трубопровода для основных насосных агрегатов) ..... | 28 |
| Таблица 2.2 – Фактические потери напора в трубопроводной сети (от<br>всасывающего до напорного магистрального, при работе основных агрегатов) ....  | 30 |
| Таблица 2.3 – Фактические гидравлические параметры насосного<br>оборудования при различных эксплуатационных вариантах насосной станции (без<br>учёта высоты подъёма 58,0 м) .....   | 36 |
| Таблица 2.4 – Расчётные данные по определению удельного сопротивления<br>трёх участков сети (всасывающего, напорного распределительного и напорного<br>магистрального трубопроводов) для бустерного насоса .....          | 39 |
| Таблица 2.5 – Фактические потери напора в трубопроводной сети (от<br>всасывающего до напорного магистрального трубопроводов при работе<br>бустерного насоса) .....  | 39 |
| Таблица 2.6 – Фактические гидравлические параметры бустерного насоса<br>(геометрическая высота подъёма $H_r = 58,0 \text{ м}$ ) .....   | 41 |
| Таблица 2.7 – Исходные данные для расчёта величины увеличения<br>потенциальной энергии во всасывающем трубопроводе с помощью линии<br>рециркуляции и кольцевого струйного аппарата .....                                  | 45 |
| Таблица 2.8 – Расчёт увеличения энергии во всасывающем трубопроводе<br>рассматриваемого насоса Д 6300-80 .....  | 46 |

Таблица 3.1 – Фактические значения величины потенциальной  $\frac{p_{б.вс.}}{g\rho_0}$ , кинетической  $\frac{V_{б.вс.}^2}{2g}$  и полной энергии  $\mathcal{E}_1 = \frac{p_{б.вс.}}{g\rho_0} + \frac{V_{б.вс.}^2}{2g}$  во всасывающем трубопроводе бустерного насоса  $D_y = 100$  мм (88 мм – внутренний диаметр) .....56

Таблица 3.2 – Фактические значения величин потенциальной  $\frac{p_б}{g\rho}$ , кинетической  $\frac{V_б^2}{2g}$  и полной энергии для напорного трубопровода бустерного насоса (коэффициент « $\lambda$ » принимается 0,02, длина трубопровода 3608 м) .....58

Таблица 3.3 – Экспериментальная величина полной энергии и напора бустерного насоса .....59

Таблица 3.4 – Фактические значения величин потенциальной  $\frac{p_0}{g\rho}$ , кинетической  $\frac{V_0^2}{2g}$  и полной энергии основных насосов .....61

Таблица 3.5 – Экспериментальная величина полной энергии и напора основных агрегатов .....63

Таблица 3.6 – Значения фактических и кодированных факторов для первой группы .....65

Таблица 3.7 – Матрица планирования и результаты исследований по первой группе опытов .....66

Таблица 3.8 – Кодированные и фактические параметры для второй группы опытов .....68

Таблица 3.9 – Матрица и результаты второй группы опытов .....68

Таблица 3.10 – Зависимость потенциальной энергии в напорном распределительном трубопроводе основного насоса от энергии в распределительном трубопроводе бустерного насоса, рассчитанная по уравнению (3.5) .....70

Таблица 5.1 – Расчётные величины полной энергии бустерного насоса насосной станции «Междуречье» (геодезическая высота подъёма 58,0 м, длина трубопровода 3608 м (расчёт проведён для напорного распределительного трубопровода с диаметром 100 мм, при длине 48 м) .....88

|  |    |
|--|----|
| Таблица 5.2 – Исходные данные для расчёта увеличения величины потребляемой электроэнергии .....                  | 89 |
| Таблица 5.3 – Расчёт увеличения величины затрат от использования бустерного насоса К 90 / 85 .....               | 90 |
| Таблица 5.4 – Стоимость обратных клапанов для защиты от гидроудара иностранного и Российского производства ..... | 92 |
| Таблица 5.5 – Исходные данные для расчёт .....   | 93 |



## ПРИЛОЖЕНИЯ

**Приложение А**  
**Патент на изобретение**

**РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ**



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2689652

**СПОСОБ БОРЬБЫ С ГИДРОУДАРОМ В НАПОРНЫХ  
ТРУБОПРОВОДАХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ**

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ДОНСКОЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"  
(ФГБОУ ВО ДОНСКОЙ ГАУ) (RU)**

Авторы: **Ширяев Вадим Николаевич (RU), Уржумова Юлия  
Сергеевна (RU), Тарасьянц Сергей Андреевич (RU)**

Заявка № 2018111305

Приоритет изобретения 15 декабря 2017 г.

Дата государственной регистрации в  
Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 28 мая 2019 г.

Срок действия исключительного права  
на изобретение истекает 15 декабря 2037 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 689 652** (13) **C1**

(51) МПК  
F04D 13/12 (2006.01)  
F04D 29/66 (2006.01)

**(12) ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(52) СПК  
F04D 13/12 (2019.02); F04D 29/669 (2019.02)

(21)(22) Заявка: 2018111305, 15.12.2017  
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
15.12.2017

Дата регистрации:  
28.05.2019

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 15.12.2017

(45) Опубликовано: 28.05.2019 Бюл. № 16

Адрес для переписки:  
346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул.  
Пушкинская, 111, ФГБОУ ВО НИМИ Донской  
ГАУ

(72) Автор(ы):  
Ширяев Вадим Николаевич (RU),  
Уржумова Юлия Сергеевна (RU),  
Тарасьянц Сергей Андреевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ "ДОНСКОЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ" (ФГБОУ ВО ДОНСКОЙ  
ГАУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: CN 201288358 Y, 12.08.2009. CN  
206174048 U, 17.05.2017. CN 104595222 A,  
06.05.2015. US 5950150 A, 07.09.1999. RU  
2624933 C1, 11.07.2017. UA 77697 C2,  
15.01.2007. UA 64281 A, 15.02.2004.

**(54) СПОСОБ БОРЬБЫ С ГИДРОУДАРОМ В НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ****(57) Формула изобретения**

Способ борьбы с гидроударом в напорных трубопроводах центробежных насосов, включающий установку на напорном трубопроводе сети после основного насоса обратного клапана и задвижки, а также установку параллельно основному дополнительному насосу с обратным клапаном и задвижкой, напорный трубопровод которого снабжен манометром и врезан в напорный трубопровод сети за задвижкой основного насоса, отличающийся тем, что дополнительный насос имеет напор, превышающий напор основного насоса на 5÷10 м, запуск основного насоса осуществляется путем запуска дополнительного насоса при закрытых задвижках обоих насосов, затем открывают задвижку дополнительного насоса, при заполнении напорного трубопровода сети включают основной насос, отключают дополнительный насос и открывают задвижку основного насоса, перед остановкой основного насоса включают дополнительный насос, при этом за счет повышения давления в напорном трубопроводе сети автоматически закрывается обратный клапан основного насоса, после чего отключается дополнительный насос.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2741360

**ПЛАВУЧАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ  
КАВИТАЦИОННОГО ЗАПАСА ОСЕВЫХ НАСОСОВ**

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ДОНСКОЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"  
(ФГБОУ ВО ДОНСКОЙ ГАУ) (RU)**

Авторы: *см. на обороте*

Заявка № 2020112128

Приоритет изобретения 24 марта 2020 г.

Дата государственной регистрации в

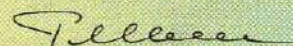
Государственном реестре изобретений

Российской Федерации 25 января 2021 г.

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает 24 марта 2040 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Ивлиев





РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 741 360**<sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) МПК  
*F04D 9/06* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(52) СПК  
*F04D 9/06 (2020.08)*

(21)(22) Заявка: 2020112128, 24.03.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 24.03.2020

Дата регистрации:  
 25.01.2021

Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 24.03.2020

(45) Опубликовано: 25.01.2021 Бюл. № 3

Адрес для переписки:  
 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул.  
 Пушкинская, 111, ФГБОУ ВО НИМИ Донской  
 ГАУ

(72) Автор(ы):  
 Тарасьянц Андрей Сергеевич (RU),  
 Мазанов Руслан Расулович (RU),  
 Ширяев Вадим Николаевич (RU),  
 Трушев Валерий Валерьевич (RU),  
 Тарасьянц Сергей Андреевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
 ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
 БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
 УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
 ОБРАЗОВАНИЯ "ДОНСКОЙ  
 ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
 УНИВЕРСИТЕТ" (ФГБОУ ВО ДОНСКОЙ  
 ГАУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 160826 U1, 10.04.2016. RU 187217  
 U1, 25.02.2019. SU 387140 A1, 21.06.1973. DE  
 3409463 A1, 26.09.1985. KR 100841958 B1,  
 27.06.2008. JP 2015078679 A, 23.04.2015.

(34) ПЛАВУЧАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ КАВИТАЦИОННОГО ЗАПАСА ОСЕВЫХ НАСОСОВ

(57) Формула изобретения

Установка для увеличения кавитационного запаса осевых насосов, содержащая струйный аппарат, выполненный в виде наружного и внутреннего кольцевых насадков, образующих кольцевую щель, и установленный перед окном входа потока во всасывающую линию осевого насоса, отличающаяся тем, что установка снабжена центробежным насосом с приводом, всасывающим и напорным трубопроводами с задвижками и устройством для заливки центробежного насоса, и понтоном, на котором перечисленные элементы установлены, струйный аппарат снабжен всасывающим трубопроводом, охватывающим наружный и внутренний кольцевые насадки, и диффузором, связанным со всасывающим трубопроводом струйного аппарата, кольцевая щель подключена к напорному трубопроводу центробежного насоса, а сам струйный аппарат выполнен с возможностью регулировки его положения по вертикали и горизонтали относительно всасывающего окна осевого насоса.

**Приложение Б**  
**Патент на полезную модель**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 181423

**СТРУЙНЫЙ НАСОС ДЛЯ РЫХЛЕНИЯ, ЗАБОРА И  
ТРАНСПОРТИРОВКИ УПЛОТНЕННЫХ ИЛОВЫХ  
ОТЛОЖЕНИЙ**

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ДОНСКОЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"  
(ФГБОУ ВО ДОНСКОЙ ГАУ) (RU)**

Авторы: **Пашков Павел Викторович (RU), Ширяев Вадим  
Николаевич (RU), Ефимов Денис Сергеевич (RU), Тарасьянц  
Сергей Андреевич (RU)**

Заявка № 2018107113

Приоритет полезной модели 26 февраля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 13 июля 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 26 февраля 2028 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Исхов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

181 423<sup>(13)</sup> U1(51) МПК  
F04F 5/10 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ(52) СПК  
F04F 5/10 (2018.02)

(21)(22) Заявка: 2018107113, 26.02.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.02.2018Дата регистрации:  
13.07.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.02.2018

(45) Опубликовано: 13.07.2018 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул.  
Пушкинская, 111, ФГБОУ ВО НИМИ Донской  
ГАУ

(72) Автор(ы):

Пашков Павел Викторович (RU),  
Ширяев Вадим Николаевич (RU),  
Ефимов Денис Сергеевич (RU),  
Тарасьянц Сергей Андреевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ "ДОНСКОЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ" (ФГБОУ ВО ДОНСКОЙ  
ГАУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 168656 U1, 14.02.2017 . RU  
160830 U1, 10.04.2016. SU 1418500 A1,  
23.08.1988. US 1437006 A, 28.11.1922. US  
3262571 A, 26.07.1966.(54) СТРУЙНЫЙ НАСОС ДЛЯ РЫХЛЕНИЯ, ЗАБОРА И ТРАНСПОРТИРОВКИ УПЛОТНЕННЫХ  
ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

(57) Формула полезной модели

Струйный насос для рыхления, забора и транспортировки уплотненных иловых отложений, содержащий рабочий трубопровод, стакан, струйные насадки, внешнее и внутреннее вакуумные пространства, кольцевую напорную щель, отличающийся тем, что во внутреннем вакуумном пространстве на валу установлена фреза с приводом от гидротурбины, вращающаяся напорным потоком рабочего трубопровода, а в заднюю торцевую часть кольцевой напорной щели врезаны струйные насадки.

## РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 182521

**СТРУЙНЫЙ НАСОС ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ГЛУБИНЫ  
РАЗРАБОТКИ ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

Патентообладатель: **ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ "ДОНСКОЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ"  
(ФГБОУ ВО ДОНСКОЙ ГАУ) (RU)**

Авторы: **Уржумова Юлия Сергеевна (RU), Пашков Павел  
Викторович (RU), Ширяев Вадим Николаевич (RU),  
Тарасьянц Сергей Андреевич (RU)**

Заявка № 2018107116

Приоритет полезной модели 26 февраля 2018 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 22 августа 2018 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 26 февраля 2028 г.



Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

*Г.П. Ивлиев* Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**182 521** (13) **U1**(51) МПК  
F04F 5/10 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**(52) СПК  
F04F 5/10 (2018.02)

(21)(22) Заявка: 2018107116, 26.02.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
26.02.2018Дата регистрации:  
22.08.2018Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 26.02.2018

(45) Опубликовано: 22.08.2018 Бюл. № 24

Адрес для переписки:  
346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул.  
Пушкинская, 111, ФГБОУ ВО НИМИ Донской  
ГАУ

(72) Автор(ы):

Уржумова Юлия Сергеевна (RU),  
Пашков Павел Викторович (RU),  
Ширьев Вадим Николаевич (RU),  
Тарасьянц Сергей Андреевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ "ДОНСКОЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ" (ФГБОУ ВО ДОНСКОЙ  
ГАУ) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 168656 U1, 14.02.2017. RU  
160830 U1, 10.04.2016. SU 1418500 A1,  
23.08.1988. US 1437006 A, 28.11.1922. US  
3262571 A, 26.07.1966.**(54) СТРУЙНЫЙ НАСОС ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ГЛУБИНЫ РАЗРАБОТКИ ИЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

(57) Формула полезной модели

Струйный насос для увеличения глубины разработки иловых отложений, содержащий рабочий трубопровод, стакан, насадки, внешнее и внутреннее вакуумные пространства, кольцевую напорную щель, отличающийся тем, что во внутреннем вакуумном пространстве на валу устанавливается рабочее колесо с лопатками осевого насоса с приводом от гидротурбины, вращающееся напорным потоком рабочего трубопровода, а в заднюю торцевую часть кольцевой напорной щели врезаны струйные насадки.

Приложение В

Сертификат участника молодёжного инновационного  
конвента Ростовской области



# СЕРТИФИКАТ

ПОДТВЕРЖДАЕТ, ЧТО

*Шураев Вагди Жамолаевич*

ПРИНЯЛ(А) УЧАСТИЕ В МОЛОДЕЖНОМ ИННОВАЦИОННОМ  
КОНВЕНТЕ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ



Комитет по молодежной политике  
Ростовской области



Приложение Г

Диплом XXVII специализированной выставки  
«Агропромышленный комплекс»





## Приложение Д

### Письмо



**ЗАМЕСТИТЕЛЬ  
ПРЕДСЕДАТЕЛЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА  
САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

ул. Московская, 72, г. Саратов, 410042  
Тел.: (845-2) 21-02-02 Факс: (845-2) 21-08-55  
*Об. 04. 2018 № 6-13-02/403*  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**О режимах работы гидроузлов  
Волжско-Камского каскада**

**Временно исполняющему  
обязанности руководителя  
Федерального агентства водных  
ресурсов  
В.А.Никанорову**

**Уважаемый Вадим Анатольевич!**

Полноводность Волгоградского водохранилища имеет важное социальное и экологическое значение и влияет на развитие экономики Саратовской области.

На заседании Межведомственной рабочей группы 20 марта текущего года были установлены режимы работы Жигулевского и Саратовского гидроузлов, приводящие к снижению уровня воды в Волгоградском водохранилище до отметки 13,66 м на период с 01 мая по 15 мая.

При понижении уровня воды в Волгоградском водохранилище ниже отметки 14,5 м осуществить забор воды на 14 головных водозаборах государственных оросительных систем ФГБУ «Управление «Саратовмелиоводхоз» невозможно. Ввиду того, что насосные станции расположены на левом берегу Волгоградского водохранилища, то есть в его мелководной части, работы по расчистке дна около водозаборных сооружений неэффективны. Оросительная система обеспечивает полив сельскохозяйственных овощных культур на площади более 100 тыс. га. В целях решения государственных задач по импортозамещению Саратовская область активно развивает производство овощей открытого грунта, которое невозможно без мелиорации. Отсутствие полива в летний период приведет к недобору урожая сельхозпроизводителями на сумму более 1,5 млрд рублей.

Кроме того, гидрологический режим Волгоградского водохранилища является определяющим фактором создания условий для нереста и нагула молоди основных промысловых рыб.

По среднегодовым наблюдениям в третьей декаде апреля, учитывая температурный режим водохранилища, начинается массовый нерест водных биоресурсов. При падении уровня воды рыба не заходит на нерестилища, наступает резорбция половых продуктов в теле производителя, гибнет икра уже отнерестившихся рыб, в отшнурованных заливах гибнет молодь в

результате высокой плотности, недостатка кормов и неблагоприятного кислородного режима.

Повышенные сбросы и резкие колебания уровня воды, осуществляемые в нерестовый период, наносят ощутимый ущерб водным биоресурсам Волгоградского водохранилища. Для достижения эффективного воспроизводства рыб в Волгоградском водохранилище, по данным Саратовского отделения ФГБНУ «ГосНИОРХ», необходим уровень воды не менее 14,7 м.

Прошу Вас, уважаемый Вадим Анатольевич, принять меры по установлению режима работы Волгоградского водохранилища в летний период, обеспечивающего поддержание уровня воды в створе города Саратова не менее 14,7 м.

*С уважением,*  
*Васильев*

**А.В.Стрельников**

## Приложение Е

### Акт внедрения

**УТВЕРЖДАЮ:**

И.О. директора НИМИ им  
А.К. КОРТУНОВА - филиал ФГБОУ ВО  
«Донской ГАУ»

  
\_\_\_\_\_  
С.С. Тарант  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

**УТВЕРЖДАЮ:**

Директор Изобильненского филиала  
ФГБУ «Управление  
«Ставропольмелиоводхоз»

  
\_\_\_\_\_  
В.В. Трушев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

### АКТ ВНЕДРЕНИЯ

результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ

**ЗАКАЗЧИК:** Изобильненский филиал ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз»

Настоящим актом подтверждается, что в результате работы «Техническое обследование насосной станции Рассвет-8 Изобильненского филиала ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз», выполненной НИМИ им. А.К. КОРТУНОВА - филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» использованы рекомендации по внедрению способа борьбы с гидроударом в напорных трубопроводах центробежных насосов на насосной станции Рассвет-8.


Результаты данной работы приняты для реконструкции и дальнейшей эксплуатации насосной станции

1. Вид внедренных результатов - **рекомендации для проектирования**
2. Характеристика масштабов внедрения - **единичное.**
3. Новизна результатов научно-исследовательской работы - **разработаны чертежи и методика расчёта дополнительного оборудования.**


**РАЗРАБОТЧИКИ:** от НИМИ им. А.К. КОРТУНОВА - филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» руководитель НИР д.т.н., проф. С.А. Тарасьянц, асп. В.Н. Ширяев.

**НИМИ им. А.К. КОРТУНОВА - филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ»**

Руководитель НИР

  
\_\_\_\_\_  
проф. С.А. Тарасьянц

Ответственный исполнитель

  
\_\_\_\_\_  
асп. В.Н. Ширяев

**Изобильненский филиал ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз»**

Ответственный за внедрение

Заместитель директора

  
\_\_\_\_\_  
Р.А. Гашимов



## Приложение Ж

### Договор о творческом сотрудничестве

Утверждаю:  
И.о. директора  
НИМИ ДГАУ



Таран С.С.

Утверждаю:

Директор Изобильненского филиала  
ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз»



Трушев В.В.

### ДОГОВОР О ТВОРЧЕСКОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ № 02/08

г. Новочеркасск

«20» августа 2019 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Донской государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Донской ГАУ), именуемое в дальнейшем «Университет», в лице исполняющего обязанности директора Новочеркасского инженерно-мелиоративного института имени А.К. Кортунова – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет» (Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ), Тарана Сергея Сергеевича, действующего на основании доверенности от 30.04.2019 г., с одной стороны, и ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз», именуемое в дальнейшем «Организация», в лице директора Изобильненского филиала Трушева Валерия Валерьевича, действующего на основании Положения и доверенности № 96 от 10.08.2018г., с другой стороны, а при совместном упоминании «Стороны» заключили настоящее соглашение о творческом сотрудничестве на следующих условиях.

#### 1. Предмет договора

1.1 Предметом настоящего договора является развитие перспективных направлений сотрудничества между Университетом и Организацией в области образования, науки, разработки и реализации профессиональных образовательных программ, направленных на удовлетворение потребностей Организации в подготовке кадров и в повышении квалификации сотрудников; при внедрении в Организации новых технологий, научных разработок, проектов; по вопросам организации практик и стажировок обучающихся Университета в Организации.

1.2 Основными целями сотрудничества между Университетом и Организацией является установление долгосрочных связей по вопросам:

- подготовки специалистов, отвечающих требованиям и специфике современных предприятий и организаций;

- внедрения инновационных достижений науки и техники в производственный процесс;

- совместного развития новых комплексных направлений научных исследований, в системах орошения сельскохозяйственных культур;

- проведение исследований и разработка комплекса мероприятий по вопросам эксплуатации насосных станций мелиоративного назначения:

- 1) определение местоположения и выбор объекта для проведения исследований;

- 2) разработка мероприятий для исследования вопросов путей снижения энергозатрат;

- 3) разработка мероприятий по снижению эксплуатационных потерь при гидравлических ударах в оросительной сети;



4) разработка мероприятий по повышению высоты всасывания центробежных и осевых насосов в случае заиливания водоисточников;

5) разработка мероприятий по очистке от заиливания всасывающих и напорных трубопроводов;

6) разработка технологической схемы установки оборудования для влияния удобрений на орошаемых участках в вегетационный период.

1.3 Привлечение к проведению государственной итоговой аттестации по основным профессиональным образовательным программам высшего образования представителей Организации.

1.4 Организация и проведение практики обучающихся Университета в Организации в соответствии с заключенным между Университетом и Организацией договором на проведение практики обучающихся.

1.5 Организация и проведение стажировок студентов и сотрудников Университета в Организации.

1.6 Разработка и реализация совместных программ по повышению квалификации сотрудников Университета в Организации и обмену опытом.

1.7 Совместная деятельность по организации и проведению тематических конкурсов среди талантливой студенческой молодежи и научно-педагогических работников Университета.

1.8 Проведение опросов в Организации о качестве подготовки выпускников Университета, трудоустроенных в данной Организации, качестве подготовки студентов, проходивших в Организации практику или стажировку.

1.9 Содействие трудоустройству выпускников, наилучшим образом проявивших себя в процессе обучения и в ходе производственных практик в Организации при наличии вакантных должностей.

1.10 Обеспечение опережающего характера подготовки специалистов на основе интеграции научной, образовательной и производственной деятельности, гарантирующей им конкурентоспособность на рынке труда и образовательных услуг.

1.11 Проведение исследовательских работ по заказам Организации в соответствии с дополнительными договорами на проведение данного вида работ.

1.12 Развитие новых, прогрессивных форм инновационной деятельности, научно-исследовательского сотрудничества с промышленными предприятиями, фондами, бизнес-структурами, органами государственной власти и местного самоуправления, и другими структурами с целью совместного решения важнейших научно-исследовательских и образовательных задач.

1.13 Внедрение научных знаний в практику деятельности Организации.

1.14 Формирование системы обмена передовым опытом, распространение последних научных, учебных и производственных достижений.

1.15 Перечень направлений и форм сотрудничества не является исчерпывающим и может расширяться и дополняться по соглашению Сторон.

## 2. Обязательства сторон

2.1 Стороны обязуются:



- оказывать содействие в реализации совместных направлений сотрудничества в порядке, в размере и способами, предусмотренными отдельными договорами и иными документами, подписанными Сторонами во исполнение настоящего договора;
- своевременно и в полном объеме выполнять юридические и фактические действия, необходимые для реализации совместных проектов;
- обмениваться с соблюдением законодательства имеющимися в их распоряжении информационными ресурсами;
- не разглашать информацию, признанную сторонами конфиденциальной;
- по необходимости проводить встречи, консультации и обсуждение вопросов, связанных с реализацией направлений и форм сотрудничества;
- рассматривать проблемы, возникающие в процессе реализации настоящего договора.

2.2 Ответственным лицом за осуществление взаимодействий по настоящему договору со стороны Университета назначается аспирант Ширяев Вадим Николаевич.

2.3 Ответственным лицом за осуществление взаимодействий по настоящему договору со стороны Организации назначается главный бухгалтер Дьячкова Елена Алексеевна.

2.4 Конкретные проекты и мероприятия сотрудничества, сроки и условия их реализации оговариваются дополнительно, оформляются в рамках отдельных договоров, планов и соглашений на согласованных Сторонами условиях.

2.5 Настоящий договор не влечет каких-либо финансовых обязательств Сторон. Вопросы финансового обеспечения сотрудничества будут решаться сторонами путем переговоров и подписанием отдельных договоров.

2.6 Положения настоящего договора не могут рассматриваться как ущемляющие права Сторон по самостоятельной реализации проектов и действий по направлениям, перечисленным в настоящем договоре.

### **3. Ответственность сторон**

3.1 Ответственность сторон по настоящему договору наступает только в случаях, предусмотренных действующим законодательством РФ.

3.2 Все споры, разногласия или требования, возникающие из настоящего Договора или в связи с ним, подлежат урегулированию сторонами путем переговоров. При отсутствии согласия спор между сторонами подлежит рассмотрению в соответствии с действующим законодательством.

### **4. Срок действия договора, порядок его изменения и расторжения**

4.1 Договор вступает в силу после его подписания Университетом, с одной стороны, и Организацией, с другой стороны.

4.2 Срок действия договора пять лет, с 20.08.2019 г. по 20.08.2024 г.

4.3 В случае, если не менее чем за один месяц до окончания срока действия настоящего договора ни одна из сторон не заявила о прекращении его действия, договор считается пролонгированным на тот же срок.

4.4 Каждая из сторон в любое время вправе отказаться от настоящего договора, предупредив об этом сторону не позднее, чем за два месяца до момента его расторжения.

## 5 Юридические адреса и подписи сторон

## Университет:

ФГБОУ ВО Донской ГАУ

ИНН 6125012570 КПП 612501001 ОГРН  
1026101409630Юридический адрес:  
346493, Ростовская область, Октябрьский  
р-н, п. Персиановский, ул.  
Кривошлыкова, 24Полное наименование филиала:  
Новочеркасский инженерно-  
мелиоративный институт имени А.К.  
Кортунова – филиал федерального  
государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего  
образования «Донской государственный  
аграрный университет»

Сокращенное наименование филиала:

Новочеркасский инженерно-  
мелиоративный институт им. А.К.  
Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ.  
ИНН 6125012570 КПП 615043001

Адрес филиала:

346428 Ростовская область, г.  
Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111 тел.:  
22-21-70

Банковские реквизиты

УФК по Ростовской области (5811,  
Новочеркасский инженерно-  
мелиоративный институт им. А.К.  
Кортунова ФГБОУ ВО Донской ГАУ л/сч  
20586Э31840)Банк: ОТДЕЛЕНИЕ РОСТОВ-НА-ДОНУ  
г. РОСТОВ-НА-ДОНУ

р/сч 40501810260152000001

БИК 046015001

## Организация:

Изобильненский филиал

ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз»

ИНН 2634038505 КПП 260702001

Юридический адрес:

355003 Ставропольский край, г.Ставрополь,  
ул.Ломоносова, 25.

Почтовый адрес:

356140 Ставропольский край, г.Изобильный,  
ул.Транспортная, 9А

Тел./факс: 8(86545) 4-03-52, +79283045663

e-mail: ifmelio@mail.ru

Полное наименование: Изобильненский филиал фе-  
дерального государственного бюджетного учрежде-  
ния «Управление «Ставропольмелиоводхоз»

Банковские реквизиты

р/сч 40501810700022000002

в Отделение Ставрополь г.Ставрополь

л/с 20216Х27730 в УФК по Ставропольскому краю  
БИК 040702001

## Подпись ответственных лиц

## Университет:

проф. Тарасьянц С.А.

аспирант Ширяев В.Н.

## Организация:

Зам. директора Гашимов Р.А.

Гл. бухгалтер Дьячкова Е.А.