

На правах рукописи



Ширяев Вадим Николаевич

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

06.01.02 – Мелиорация, рекультивация и охрана земель

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Новочеркасск – 2021

Работа выполнена в Новочеркасском инженерно-мелиоративном институте имени А.К. Кортунова – филиале федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет».

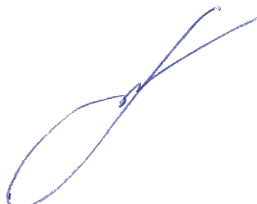
- Научный руководитель:** **Уржумова Юлия Сергеевна**, кандидат технических наук, доцент
- Официальные оппоненты:** **Новиков Андрей Евгеньевич**, доктор технических наук, доцент, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия», директор
Али Мунзер Сулейман, кандидат технических наук, доцент, кафедра сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева», заведующий кафедрой
- Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение **Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и сельхозводоснабжения «Радуга»**

Защита диссертации состоится «01» декабря 2021 года в 10⁰⁰ часов на заседании объединённого диссертационного совета Д 999.214.02 при ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» и ФГБНУ «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» по адресу: 346428, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Пушкинская, 111, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской ГАУ».

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А. К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» <https://ngma.su>, на сайте ВАК Министерства образования и науки РФ <http://vak.ed.gov.ru/>.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2021 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
д-р с.-х. наук, доцент



И. В. Воскобойникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. 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, 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. 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 предусматривают устройства для гашения гидравлических ударов, 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 водоподкачке Московского водопровода. На их основе разработана теория гидравлического удара, устанавливающая связь между изменением скорости движения воды и давления в напорных трубопроводах.

Полный обзор развития теории гидравлического удара до 1938 г. проведён М. А. Мостковым. Подробно проблеме напорного неустановившегося движения посвящены работы А. А. Сурина. Анализ состояния вопроса повышения давления в напорных трубопроводах до 1961 г. проведён Н. А. Картвелишвили.

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), Вишневский 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.

Цель и задачи исследований. 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 расчета 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 натуральных исследований, полученных с использованием современной измерительной тарированной аппаратуры по утверждённому и апробированному методикам.

Апробация результатов проводилась поэтапно с представлением достигнутых результатов, которые были доложены и одобрены, на «Молодёж-

ном 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», посвященной 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», посвященной 70-летию д.т.н., профессора кафедры «Тракторы и автомобили» Селиванова Николая Ивановича (Красноярск, ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ, 18-19 ноября 2020 г.).

Результаты научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ приняты для проектирования и эксплуатации оросительных сетей ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз».

Личный вклад автора в получении 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность исследований, степень разработанности темы, цель и задачи исследований, научная новизна, объекты исследований, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследований, положения, выносимые на защиту, степень достоверности, апробация, личный вклад автора, публикации, структура и объем работы.

В первой главе рассмотрены вопросы существующих эксплуатационных вариантов переходных процессов в напорных трубопроводах оросительных сетей, описаны причины возникновения аварийных ситуаций при переходных процессах, проведен обзор теорий существующих методов расчёта повышения давления в напорных трубопроводах.

Одним из последних примеров повышения давления в напорном трубопроводе явилась авария на головной насосной станции Арзгирской оросительной системы Ставропольского края, здание которой и все оборудование было затоплено в июне 2015 года.

В выводах по главе отмечено:

- явление увеличения давления в напорных трубопроводах происходит, в основном, при переходных процессах в трубопроводной сети и в работе насосных агрегатов насосных станций;

- наиболее важным фактором, влияющим на повышение давления в сети, является резкая, несвоевременная остановка обратного движения потока в сети;

- 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;

- 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.

Вторая глава посвящена теоретическим основам расчёта ввода дополнительной энергии в напорные трубопроводы для предотвращения гидравлического удара в напорном трубопроводе методом прикрытия обратного клапана перед остановкой насосного агрегата.

Целью основ расчёта является обоснование возможности увеличения полной энергии в напорных трубопроводах основных насосных агрегатов бустерным насосом, способствующим закрытию обратных клапанов и предотвращающим обратное движение потока и гидравлического удара в сети.

Для примера расчёта принята насосная станция «Междуречье» Изобильненского филиала ФГБУ «Управление «Ставропольмелиоводхоз» с тремя основными насосными агрегатами Д 6300-80 и двумя напорными трубопроводами Ø 1200 мм. Схема оборудования показана на рисунке 1.

Теоретические исследования проведены для наиболее сложного эксплуатационного варианта при работе пары основных насосов на один напорный трубопровод.

Расчёт полной энергии всасывающих и напорных трубопроводов проводится для основных насосов в следующей последовательности:

1. На характеристике насоса строятся кривые потерь (рисунок 2);
2. По кривым потерь напора определяются фактические гидравлические параметры сети и полная энергия во всасывающих и напорных трубопроводах (таблица 1).

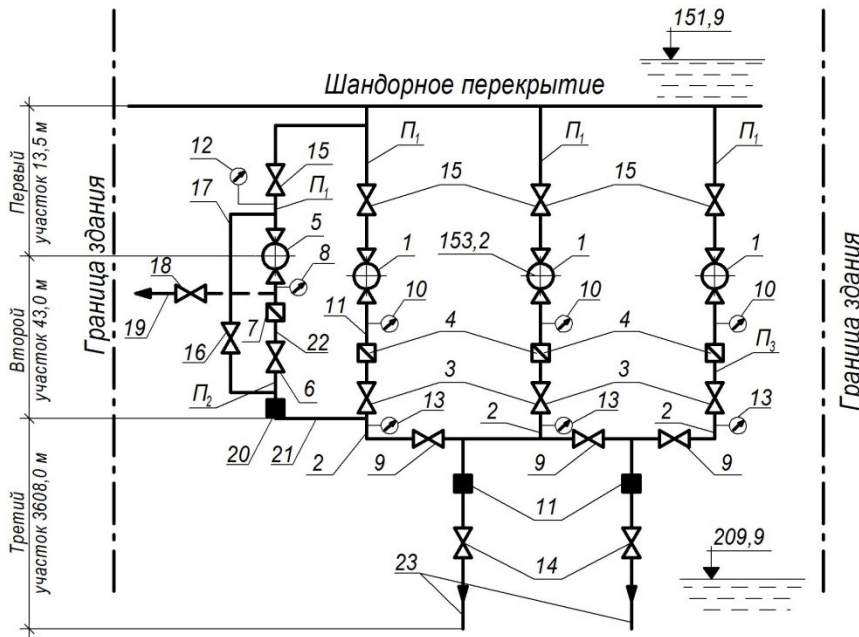


Рисунок 1 - Технологическая схема установки оборудования на исследуемой насосной станции «Междуречье»

1 – основные насосные агрегаты; 2 – напорный распределительный трубопровод основных агрегатов; 3, 6, 9, 14, 15, 16, 18 – задвижки; 4, 7 – обратные клапаны; 5 – бустерный насос; 8, 10, 12, 13 – манометры; 11, 20 – расходомеры; 17 – байпас; 19 – сбросной трубопровод; 21 – напорный трубопровод; 22 – напорный трубопровод бустерного насоса; 23 – напорный магистральный трубопровод.

По рисунку 2 определяются фактические гидравлические параметры и полная энергия в трубопроводе при различных эксплуатационных вариантах (таблица 1).

Таблица 1 - Фактические гидравлические параметры основного насосного оборудования и полная энергия при различных эксплуатационных вариантах трубопроводной сети

Напор, H_n , м	Подача, Q_n , m^3/c	$\mathcal{E}_{вс} = H_{дон}^{вс}$, м	Скорость в напорном трубопроводе, V_n , м/с	Скоростной напор в напорном трубопроводе $V_n^2/2g$	Полная энергия в напорном трубопроводе основных насосов, $\mathcal{E}_o = H_n - H_{дон}^{вс} + V_n^2/2g$, м
Один насос на один напорный трубопровод					
75,2	1,93	0,4	1,95	0,19	75,79
Два насоса на один напорный трубопровод					
73,6	4,0	0,5	4,06	0,84	86,34

Расчет величины полной энергии вспомогательного бустерного насоса проводится в последовательности, приведённой для основных агрегатов.

По кривой потерь напора во всасывающем и напорном трубопроводе бустерного насоса, построенной на характеристике, определяются фактические гидравлические параметры сети (рисунок 3, таблица 2).

В данном случае, наибольшее значение полной энергии получено при работе основных насосов 86,34 м, при работе бустерного насоса 108,60 м, что превышает энергию, создаваемую основными насосами на 22,26 м.

По таблице 2 видно, что увеличение полной энергии, создаваемой бустерным насосом, соответствует возможностям его характеристики.

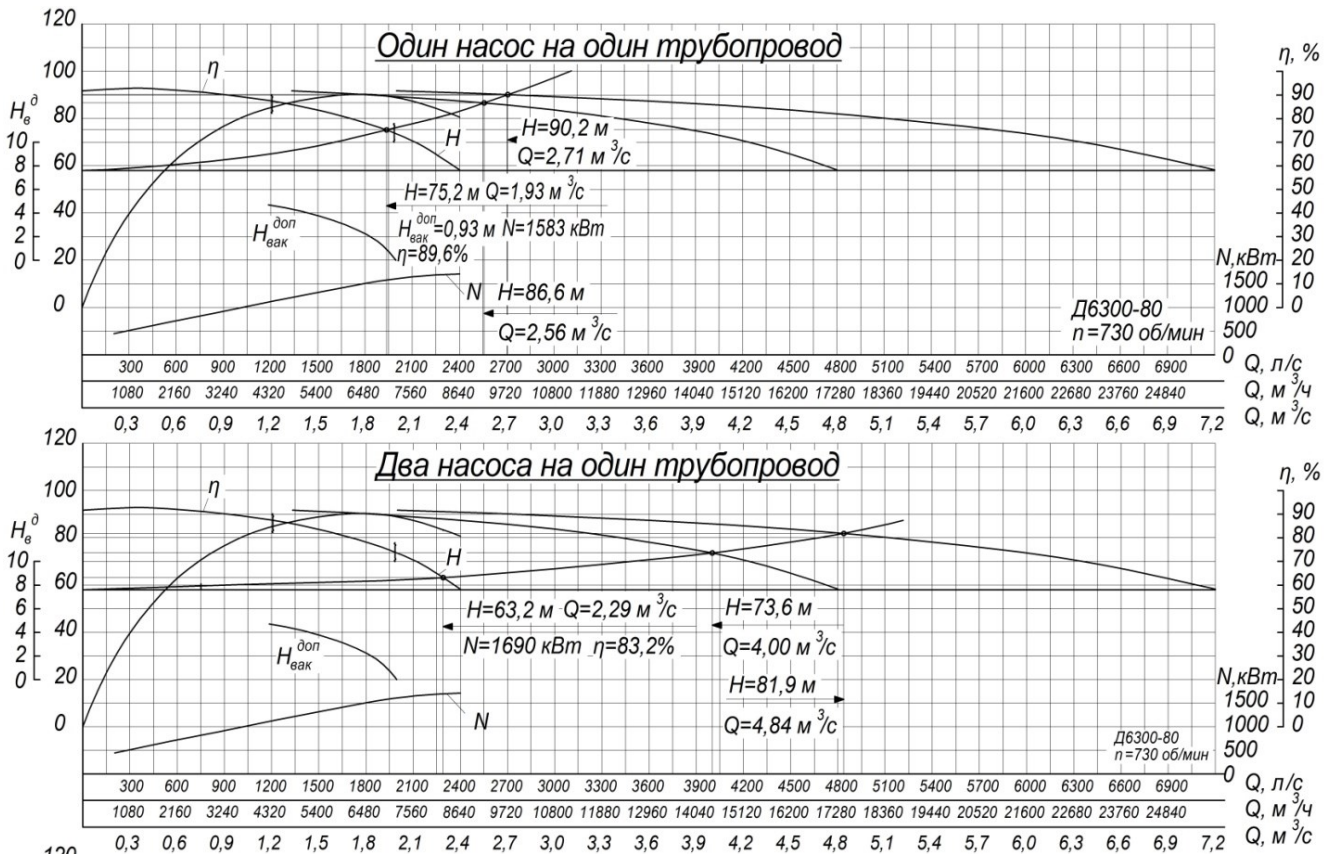


Рисунок 2 - Фактические рабочие параметры одного и двух основных насосов с одним напорным магистральным трубопроводом

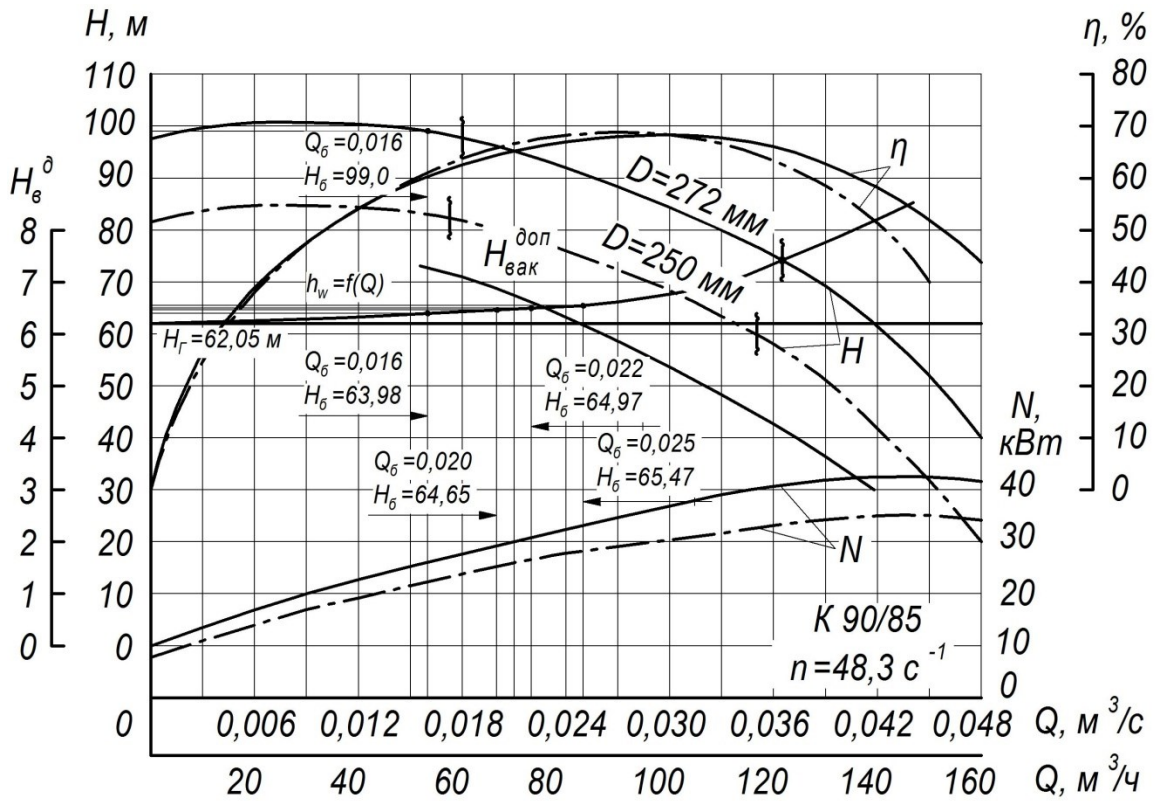


Рисунок 3 - Фактические рабочие параметры бустерного насоса К90 / 85

Таблица 2 – Величина полной энергии в напорном распределительном трубопроводе бустерного насоса

Напор, H_6 , м	По- дача, Q_6 , $м^3/с$	$\mathcal{E}_{вс} =$ $H_{доп.б}^{вас}$, м	Скорость в напорном трубопро- воде, V_6 , м/с,	Скорост- ной напор в напорном трубопро- воде $V_6^2/2g$	Полная энергия в напорном трубопро- воде бустерного насо- са $\mathcal{E}_6 = H_6 - H_{доп.б}^{вас} +$ $V_6^2/2g$, м
75 (при диаметре напорного трубо- провода бустерного насоса 0,1 м)	0,037	4,2	9,89	4,99	75,79
100 (при диаметре напорного трубо- провода бустерного насоса 0,06 м)	0,016	4,5	16,03	13,10	108,60

Кроме того, проведен расчёт возможности увеличения энергии и кавитационного запаса насосного оборудования на всасывающем трубопроводе, в ходе которого установлены величины увеличения потенциальной энергии во всасывающем трубопроводе с помощью линии рециркуляции и кольцевого струйного аппарата.

Расчитанное 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.

В выводах по главе отмечено:

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

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.

В третьей главе приводятся натурные экспериментальные исследования, проведённые на насосной станции «Междуречье», для которой проводился теоретический расчёт, с целью возможности остановки основных насосных агрегатов без использования дополнительных традиционных устройств – гасителей гидравлических ударов.

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.



Рисунок 4 – Внутренний вид насосной станции «Междуречье» с основным и бустерным насосом

При проведении исследований по п.1 для всасывающего трубопровода определялись и рассчитывались (см. рисунки 1,4,5,6):

- расход по фактическому расходу Q_{16} , в напорном трубопроводе расходомером 20 при различной степени открытия задвижки;
- фактическая потенциальная $\frac{P_{16}}{g\rho_0}$ энергия по показаниям манометра 8, вакуумметра 12;

- кинетическая и полная энергия по зависимостям $\frac{V_{16}^2}{2g}$, $\mathcal{E}_1 = \frac{P_{16}}{g\rho_0} + \frac{V_{16}^2}{2g}$.

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

- фактический расход Q_6 и скорость потока V_6 в напорном трубопроводе насоса по времени наполнения;
- фактическая потенциальная и кинетическая энергия в напорном трубопроводе по показаниям манометра 8 и по скорости движения потока V_6 в напорном трубопроводе 22 для четырёх степеней открытия задвижки 6, потери напора и полная энергия (таблица 3).

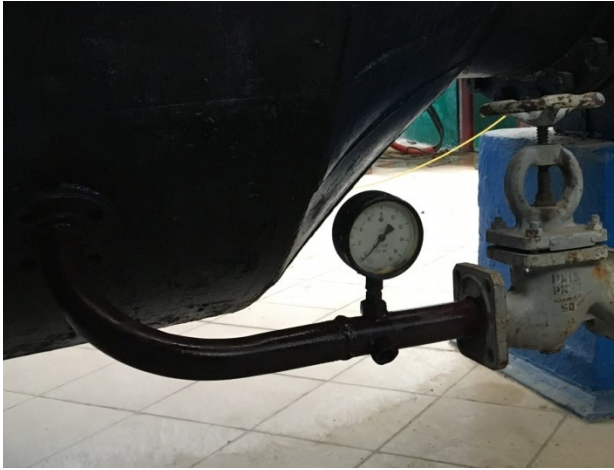


Рисунок 5 – Вакууметр для определения величины вакуума на всасывающем трубопроводе бустерного насоса



Рисунок 6 – Манометр для определения потенциальной энергии бустерного насоса в напорном распределительном трубопроводе

Таблица 3 – Экспериментальная величина полной энергии и напора бустерного насоса

Степень открытия задвижки	Подача, м ³ /с	Полная энергия во всасывающем трубопроводе $\mathcal{E}_{16,м}$	Полная энергия в напорном трубопроводе $\mathcal{E}_{26,м}$	Напор бустерного насоса, $H_6 = \mathcal{E}_{26,м} - \mathcal{E}_{16,м}$
0,25	0,020	-1,92	94,98	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	106,40	109,78

Анализ таблицы 3 показал величину полной энергии бустерного насоса H_6 в зависимости от степени открытия задвижки на напорном трубопроводе от 94,98 до 106,40 м.

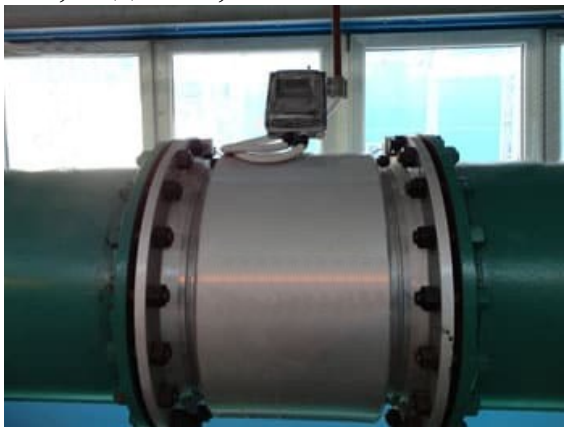


Рисунок 7 – Электромагнитный расходомер для определения расхода в напорном магистральном трубопроводе (EUROMAG MUT2500EL)

При проведении исследований по п.3 с основными насосными агрегатами измерялись и рассчитывались (рисунки 1,7):

- фактический расход Q_0 и скорость потока в напорном трубопроводе V_0 по показаниям расходомера 11;
- фактическая потенциальная и кинетическая энергия в напорном трубопроводе по показаниям манометра 10 и по скорости движения потока в напорном трубопроводе 2 для четырех степеней открытия задвижки 3, рассчитывались потери напора и полная энергия (таблица 4).

Таблица 4 – Фактические значения величин потенциальной $\frac{P_0}{g\rho_0}$, кинетической $\frac{V_0^2}{2g}$ и полной энергии в напорном трубопроводе при работе одного и двух основных насосов на один трубопровод

Степень открытия задвижки 3	Фактические показания манометра M_0 , м	Подача, $\text{м}^3/\text{с}$	Скорость в трубопроводе V_0 , ($\omega_{\text{тр}} = 0,98 \text{ м}^2$), м/с	Скоростной напор (кинетическая энергия), $\frac{V_0^2}{2g}$, м	Потери напора фактические $M_0 - H_2$, м	Потери напора $h_{W_0} = \lambda \frac{L_H V_0^2}{D_H 2g}$, м (расчётные)	Потенциальная энергия $\frac{P_0}{g\rho_0}$, м	Полная энергия в напорном трубопроводе, $\Sigma_2, \frac{P_0}{g\rho_0} + \frac{V_0^2}{2g}$, 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 двух 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

По таблице 4 видно, что величина полной энергии основных насосных агрегатов колеблется, в зависимости от количества включенных насосов на один напорный трубопровод, от 62,35 м до 87,69 м.

Кроме вышеуказанных исследований, дополнительно проводилось опытное определение величины потенциальной энергии перед обратным клапаном основного насосного агрегата с использованием теории планирования эксперимента, в качестве факторов принимались:

- потенциальная энергия $P_1(X_1)$ во всасывающих трубопроводах основного и дополнительного насосов, определяемая по вакуумметру 12 и регулируемая задвижкой 15 (см. рисунок 1);
- потенциальная энергия $P_2(X_2)$ в напорном трубопроводе 21, дополнительного насоса, определяемая манометром 8 и регулируемая задвижкой 6;
- потенциальная энергия $P_3(X_3)$ в напорном трубопроводе 2 основного насоса, определяемая манометром 10 и регулируемая задвижкой 3.

В качестве критерия H принималась потенциальная энергия в трубопроводе 2, перед обратным клапаном 4 и задвижкой 3, определяемая манометром 13 (см. рисунок 1). 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.

Величины фактических и кодированных параметров, для трех факторного плана показаны в таблице 5.

Таблица 5 - Значения фактических и кодированных факторов для первой группы опытов

Факторы	Код	Интервалы, м	Уровень		
			Средний «0», м	Нижний -, м	Верхний +, 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

По результатам первой группы опытов получена зависимость:

$$H = 90,8 + 19,1X_1 - 30,2X_2 - 44,1X_3$$

по которой определена степень влияния факторов на величину потенциальной энергии в напорном трубопроводе бустерного насоса (рисунок 8) $P_2 = 87\%$, в напорном трубопроводе основного насоса 58% и во всасывающих трубопроводах основного и бустерного насосов 8% .

Исходя из вышеизложенного, проведена вторая группа опытов с двумя факторами $P_2(X_2)$ и $P_3(X_3)$. Фактор $P_1(X_1)$ стабилизирован на уровне 2 м. Значения кодированных и фактических факторов, матрица планирования и результаты второй группы опытов показаны в таблицах 6, 7.



Рисунок 8 – Кривая зависимости степени влияния исследованных факторов на потенциальную энергию в напорном трубопроводе основного агрегата перед обратным клапаном

Таблица 6 - Кодированные и фактические параметры для второй группы опытов

Факторы	Код	Интервалы, м	Уровень		
			Средний «0», м	Нижний -, м	Верхний +, м
P_2	X_2	10,0	80,0	70,0	90,0
P_3	X_3	10	70,0	60,0	80,0

Таблица 7 - Матрица и результаты второй группы опытов

№ опыта	Энергия бустерного насоса, $X_2(P_2)$, м	Энергия основного насоса, $X_3(P_3)$, м	Значения факторов		
			P_2 , м	P_3 , м	Энергия перед обратным клапаном основного насоса H , м
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

Обработка результатов второй группы опытов позволила получить зависимость величины потенциальной энергии в напорном распределительном трубопроводе 4 перед обратным клапаном основного насоса, от значений потенциальной энергии в напорных распределительных трубопроводах бустерного и основного насосов P_2 , P_3 ,

$$H = 64,2 - 15,9P_2 + 34,1P_3 + 12,2P_2^2 - 10,4P_3^2 - 15,1P_1P_2,$$

по которой рассчитаны значения P_2 и P_3 и показаны на рисунке 9.

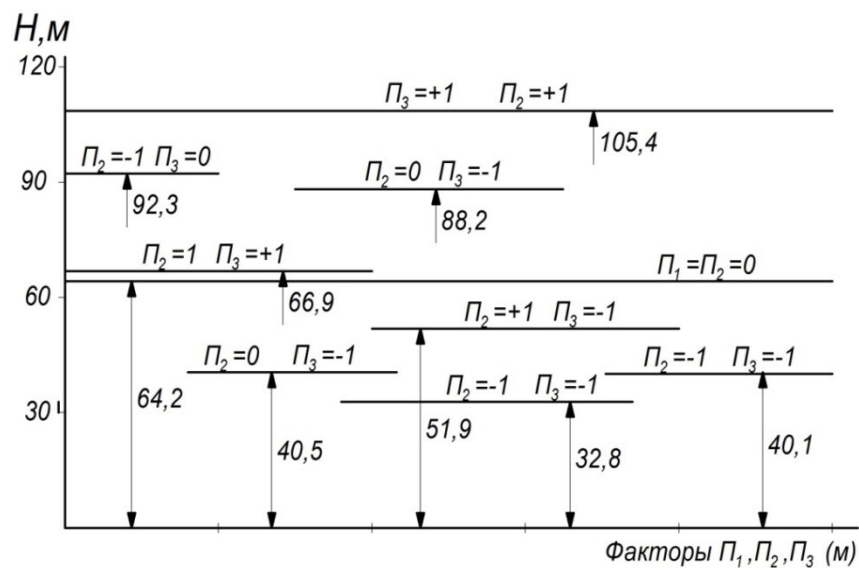


Рисунок 9 – Графическая зависимость потенциальной энергии перед обратным клапаном основного насоса H от величины потенциальной энергии в напорных трубопроводах бустерного P_2 и основного насоса P_3

По рисунку 9 видно, что наибольшее расчётное значение величины потенциальной энергии H , получено при кодированных значениях $\Pi_2 = +1$ и $\Pi_3 = +1$, что соответствует натуральным величинам энергии $\Pi_2 = 90$ м и $\Pi_3 = 80$ м.

В выводах по главе отмечено:

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 расчета $\mathcal{E}_{26} = 108,60$ м в пределах ошибки 2-3 %.

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

В четвёртой главе приводится описание технологического процесса возможности увеличения полной энергии в напорных трубопроводах основных агрегатов перед пуском и остановкой приводного двигателя.

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 (см. рисунок 1):

- пускается бустерный насос 5 при закрытых задвижках 3, 6, 14, в случае стандартного пуска манометр 8 покажет полную величину потенциальной энергии в трубопроводе 22 и корпусе насоса 5;

- открываются задвижки 6,9,14 при закрытой задвижке 3, энергия в трубопроводе 23 увеличивается по мере заполнения всасывающего, напорных распределительных магистральных трубопроводов, что засвидетельствует манометр 8 и вакуумметр 12. При полном заполнении напорных магистральных трубопроводов манометр 8 покажет, как минимум, разницу отметок водоисточника 151,9 и уровня воды в отводящем канале 209,9.

- задвижка 6 закрывается и пускается основной агрегат 1 в случае режимного пуска, что засвидетельствует манометр 10, открывается задвижка 3, и манометр 10 покажет полную потенциальную энергию – разницу отметок и суммарной величины потерь напора в напорном распределительном 2 и магистральном трубопроводах 23, расходомер 11 покажет величину подачи основного агрегата.

- бустерный насос 5 останавливается, и в случае необходимости задвижка 15 закрывается.

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 показа-

ний манометра 13 поддержания заполненного состояния трубопроводов производится бустерным насосом по вышеуказанному порядку.

При остановке основных агрегатов для предотвращения обратного потока воды в магистральном трубопроводе открывается задвижка 15, пускается бустерный насос 5, открывается задвижка 6 и при условии необходимости увеличения потенциальной энергии, вследствие пуска дополнительного насоса, в трубопроводе 2 закрывается обратный клапан работающего основного насоса, при гарантированном отсутствии обратного потока воды в напорном магистральном трубопроводе 2.

Третий – эксплуатация насосной станции в вегетационный период. Осуществляется с соблюдением всех норм, стандартных эксплуатационных режимов. В случае необходимости подключения дополнительных потребителей неработающий агрегат пускается с остановленным бустерным насосом, вследствие увеличенного напора в сети, изменятся потери напора и потенциальная энергия, после чего подключается дополнительный потребитель. Основным необходимым принципом является соблюдение возможности увеличения энергии в сети бустерным насосом перед остановкой основного насоса для предварительного закрытия обратных клапанов..

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.

Технологический процесс пуска, эксплуатации и остановки бустерного насосного агрегата 5 предусматривает, аналогично с основными агрегатами, четыре режима:

Первый – пуск бустерного насоса в начале сезона на незаполненный трубопровод.

Второй – пуск бустерного насоса в случае необходимости остановки основных насосов в вегетационный период осуществляется для предварительного закрытия обратных клапанов основных насосов.

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.

В выводах по главе отмечено, что 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.

В пятой главе дано экономическое обоснование использования бустерных насосов.

Расчёт экономической эффективности проведен согласно положениям Инструкции по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений (СН509 – 78) путем 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.

При расчёте увеличения затрат от использования в качестве бустерного насоса К 90/85, в сравнении с используемым насосом К 90/55 установлено, что положительный экономический эффект, в данном случае, не может быть получен в связи с установкой насосного оборудования большей мощности на 8,33 кВт, что увеличит потребляемую энергию в сезон на 1050 кВт·час, вследствие чего произойдет рост общей стоимости СМР и эксплуатации оборудования на 105860,0 рублей.

При проведении экономического сравнения предлагаемого насосного оборудования с существующими способами гашения гидравлического удара, согласно Инструкции СН 509-78 экономический эффект от применения более эффективного оборудования проводится на основании таблицы 8 стоимости обратных клапанов Российского и иностранного производства и составил 4,113 млн. руб.

Таблица 8 - Стоимость обратных клапанов для защиты от гидроудара иностранного и Российского производства

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

В выводах по главе отмечено, что использование дополнительного насосного оборудования в виде бустерного насоса с повышенными гидравлическими параметрами, по сравнению с существующими, увеличивает сезонное потребление электроэнергии с одновременным увеличением стоимо-

сти 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.

При сравнении увеличения стоимости сезонного потребления электроэнергии 12863,53 руб. и стоимости зарубежных гасителей гидроударов (обратных клапанов), приведенных 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 вероятными, из всех описанных методов расчета 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 Д6300-80, 86,34 м, для бустерного насоса К90/85, 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 расчетах 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 расчета $\mathcal{E}_{26} = 108,60$ м в пределах ошибки 2-3 %.

При подборе марки насоса, принимаемого в качестве бустерного, следует напор, независимо от подач, 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 ценой российских и зарубежных обратных клапанов, колеблющихся 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), приведенных 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, устанавливаемых 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 необходи-

мо 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых научных изданиях

1. Ширяев, В.Н. Расчёт увеличения энергии и кавитационного запаса насосного оборудования на всасывающем трубопроводе [Электронный ресурс] / В.Н. Ширяев, Ю.С. Уржумова, С.А. Тарасьянц // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. – 2021. – № 1 (61). – С. 420-431. – Режим доступа: https://www.volgau.com/Portals/0/izv_auk/izv_auk_061/izv_auk_061_st_40.pdf?ver=IP2O7SfLVcW7nOEtBlzSMA%3d%3d.

2. 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. – Режим доступа: http://www.rosniipm-sm.ru/dl_files/udb_files/udb4-rec1184-field12.pdf.

3. 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 государственного агротехнологического ун-та им. П.А. Костычева. – 2020. – № 4 (48). – С. 134-147.

4. Кавитация и способы увеличения кавитационного запаса осевых насосов при падениях уровней воды в водоисточниках [Электронный ресурс] / С.А. Тарасьянц, П.В. Пашков, В.Н. Ширяев, Н.А. Майданников // Вестник Рязанского государственного агротехнологического ун-та им. П. А. Костычева. – 2018. – № 1(37). – С. 99-104. – Режим доступа: <http://vestnik>.

rgatu.ru/archive/2018_1.pdf.

5. Гидравлический расчёт установки для удаления иловых отложений первичных отстойников канализационных очистных сооружений [Электронный ресурс] / Я.А. Царевский, Д.С. Цыпленков, В.Н. Ширяев, С.А. Тарасьянц // Вестник Курганской ГСХА. – 2019. – № 4 (32). – С. 77-80. – Режим доступа: <https://www.ksaa.zaural.ru/images/stories/vestnik/2019/04/img/стр.77.pdf>.

6. Технологический процесс производства работ по очистке мелководных водоемов универсальной гидравлической установкой [Электронный ресурс] / С.А. Тарасьянц, Я.А. Царевский, В.Н. Ширяев, Е.П. Пестрикова, Н.О. Ширяева // АПК России. – 2020. – № 1(27). – С. 149-154. – Режим доступа: [https://rusapk.sursau.ru/upload/iblock/e42/АПК%20России%20Т.%2027.%20№%201%20\(февраль\).pdf](https://rusapk.sursau.ru/upload/iblock/e42/АПК%20России%20Т.%2027.%20№%201%20(февраль).pdf).

Патенты

1. Пат. №2689652 РФ, МПК F04D 13/12. Способ борьбы с гидроударом в напорных трубопроводах центробежных насосов / В.Н. Ширяев, Ю.С. Уржумова, С.А. Тарасьянц; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО Донской ГАУ. – № 2018111305; заявл. 15.12.2017; опубл. 28.05.2019. – Бюл. № 16.

2. Пат. на полезную модель № 182521 РФ, МПК F04F 5/10. Струйный насос для увеличения глубины разработки иловых отложений / Ю.С. Уржумова, П.В. Пашков, В.Н. Ширяев, С.А. Тарасьянц; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО Донской ГАУ. – № 2018107116; заявл. 26.02.2018; опубл. 22.08.2018. – Бюл. № 24.

3. Пат. на полезную модель № 181423 РФ, МПК F 04 F 5/10. Струйный насос для рыхления, забора и транспортировки уплотненных иловых отложений / П.В. Пашков, В.Н. Ширяев, Д.С. Ефимов, С.А. Тарасьянц; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО Донской ГАУ. – № 2018107113; заявл. 26.02.2018; опубл. 13.07. 2018. – Бюл. № 20.

4. Пат №2741360 РФ, МПК F04D 9/06. Плавающая установка для увеличения кавитационного запаса осевых насосов / А.С. Тарасьянц, Р.Р. Мазанов, В.Н. Ширяев, В.В. Трушев, С.А. Тарасьянц; заявитель и патентообладатель: ФГБОУ ВО Донской ГАУ. – № 2020112128; заявл. 24.03.2020; опубл. 25.01. 2021. – Бюл. № 3.

Статьи в журналах, тематических сборниках и материалах научных конференций

1. Методы расчета режимов движения жидкости в напорных системах / В.Н. Ширяев, С.А. Тарасьянц, Н.О. Ширяева, А.Н. Паненко // European multi science journal : ежемесячный международный научный журнал. – Венгрия, Будапешт, 2018. – С. 35-39.

2. 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: сборник научных трудов Международной конференции «Научные исследования стран ШОС: Синергия и интеграция», 16 сент. 2020 г. – Пекин, изд. Инфинити, 2020 – С. 170-175.

3. 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 // Ресурсосберегающие технологии в агропромышленном комплексе России : Материалы Междунар. науч. конф., г. Красноярск, 19 нояб. 2020 г. / Красноярский ГАУ. – Красноярск, 2020. – С. 170-175.

4. Экономическое обоснование подбора насосного оборудования для мелиоративных насосных станций / О.И. Рахнянская, В.Н. Ширяев, В.В. Трушев, Н.С. Науменко // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 62-2. – С. 67-70.

5. Методы расчёта геометрической высоты всасывания и отметки оси центробежных насосов на насосных станциях мелиорации и водоснабжения / А.С. Тарасьянц, В.Н. Ширяев, О.И. Рахнянская, С.А. Тарасьянц // International journal of advanced studies in computer engineering. – 2020. – № 1. – С. 31-41.

6. Анализ проектных разработок существующих насосных станций, эксплуатируемых департаментом мелиорации РФ / С.А. Тарасьянц, О.И. Рахнянская, В.Н. Ширяев, А.С. Тарасьянц // Наука и образование в инновационном развитии АПК : Материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, г. Махачкала, 29 апр. 2020 г. / Дагестанский ГАУ им. М.М. Джамбулатова. – Махачкала, 2020. – С. 108-117.

7. Гидравлический расчёт эксплуатационных параметров насосной станции для подбора диаметра напорного трубопровода / О.И. Рахнянская, В.В. Трушев, В.Н. Ширяев, С.В. Филонов, С.А. Тарасьянц, Р.Р. Мазанов // Наука и образование в инновационном развитии АПК : Материалы Всероссийской науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Победы в Великой Отечественной войне, г. Махачкала, 29 апр. 2020 г. / Дагестанский ГАУ им. М.М. Джамбулатова. – Махачкала, 2020. – С. 117-128.