

**Министерство сельского хозяйства
НОВОЧЕРКАССКИЙ ИНЖЕНЕРНО-МЕЛИОРАТИВНЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ
А.К. КОРТУНОВА – ФИЛИАЛ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТ-
НОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Донской государственный аграрный университет»**

На правах рукописи

Цыпленков Дмитрий Степанович

**ТЕХНИЧЕСКОЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ
УДАЛЕНИЯ ВОЗДУХА СТРУЙНЫМИ АППАРАТАМИ ИЗ ОРОСИТЕЛЬНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ**

Специальность: 4.1.5 «Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика»

Диссертация

на соискание учёной степени
кандидата технических наук

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

**Новочеркасск
2025 г**

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СТРУЙНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВОЗДУХА ИЗ ТРУБОПРОВОДОВ	11
1.1 Существующие схемы и конструкции водовоздушных струйных аппаратов.....	11
1.2 Установки для удаления воздуха и создания вакуума во всасывающих трубопроводах центробежных насосов	21
1.3 Методы гидравлического расчёта водовоздушных установок для создания вакуума в трубопроводах, оборудованных струйными аппаратами	26
Выводы по главе.....	28
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАПОЛНЕНИЯ ВСАСЫВАЮЩИХ И НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СТРУЙНЫМИ АППАРАТАМИ	30
2.1 Теоретическая зависимость величины вакуума в корпусе струйного аппарата от скоростного напора в сопле камеры смешения	31
2.2 Теоретическое определение расхода подсасываемого потока в зависимости от напора в напорном распределительном трубопроводе.....	36
2.3 Обоснование изменения величин коэффициентов гидравлических сопротивлений элементов водовоздушного струйного аппарата	39
2.4 Рекомендации по расчёту относительных геометрических размеров и гидравлических параметров струйного аппарата	43
2.5 Методика расчёта и расчёт оптимальных гидравлических параметров и геометрических размеров системы удаления воздуха из напорного трубопровода водовоздушным струйным аппаратом	47
2.5.1 Порядок расчёта	47
Выводы по главе.....	52
3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	53

3.1 Методика проведения исследований	59
3.2 Определение величины вакуума в заполненном трубопроводе в зависимости от напора перед струйным аппаратом, напора насосной станции первого подъёма и длины трубопровода	63
Выводы по главе.....	71
4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ВОЗМОЖНОСТИ УДАЛЕНИЯ ВОЗДУХА СТРУЙНЫМИ АППАРАТАМИ ИЗ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И ДАЛЬНЕЙШЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	72
4.1 Технологический процесс пуска исследуемого комплекса гидромеханического оборудования.....	73
4.1.1 Пуск оборудования на свободный трубопровод.....	73
4.1.2 Эксплуатация в вегетационный период (для целей мелиорации и водоснабжения)	77
4.1.3 Остановка основных агрегатов для техобслуживания и в случае аварийных ситуаций	82
Выводы по главе.....	83
5 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ЗАПОЛНЕНИЯ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО СОЗДАНИЯ ВАКУУМА СТРУЙНЫМИ АППАРАТАМИ	84
5.1. Характеристика предлагаемого варианта заполнения напорного трубопровода	85
Выводы по главе.....	90
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	91
Рекомендации производству	93
Перспективы дальнейшей разработки темы	93
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	94
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА	109
Приложение А Патент на изобретение № 2733781	112
Приложение Б Патент на полезную модель № 19337	114

Приложение В Грамота за серебряную медаль в конкурсе «Золотая осень 2019»	116
Приложение Г Благодарность за разработку инновационного научно-технического проекта в XXIV Всероссийской агропромышленной выставке «Золотая осень 2022»	117
Приложение Д Грамота за участие в специализированной выставке «Агротехнология»	118
Приложение Е Акт внедрения НИР. Заказчик «Кубаньводкомплекс»	119

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В настоящее время основным способом сброса воздуха из заполняемых напорных трубопроводов систем мелиорации, являются клапаны сброса - вантузы. Только в Ростовской области эксплуатируются тысячи километров напорных трубопроводов и ста двух мелиоративных насосных станций, которые постоянно как в процессе ремонтных работ, так и при переходных режимах опорожняются или заполняются водой. Одновременно при опорожнении трубопровод наполняется воздухом для создания в нём атмосферного давления и при заполнении освобождается для создания избыточного давления для гидротранспорта. Существующие нормы проектирования напорных водоводов [21, 85] предусматривают установку вантузов для удаления воздуха в точках перепада в зависимости от рельефа местности с устройством смотровых колодцев и установкой необходимого оборудования. Схема прокладки трубопроводов по принятым нормам дорогостоящая, ненадёжная в эксплуатации, препятствующая полевым работам и эксплуатации сельскохозяйственной техники. Вследствие вышеизложенного, задача поиска технических решений, направленных на совершенствование систем заполнения и опорожнения напорных трубопроводов, является актуальной, требующей научного подхода к решению данной проблемы.

Степень разработанности темы. Возможность удаления и дальнейшей транспортировки воздуха и газов в различных механизмах основывается, в основном, на принципе работы компрессорного, вентиляторного и других видов оборудования, связанного с созданием пониженного атмосферного давления во всасывающих линиях и создания повышенного атмосферного давления в напорных трубопроводах. Основным разработчиком воздушных и гидравлических машин занимались несколько институтов: ВНИИГидроМаш, ВНИИХимМаш, ВНИИКомпресорМаш. Кроме компрессорных и вентиляторных машин для создания вакуума и возможности транспортировки воздушных масс используются струйные аппараты по принципу создания в

сопле высокого скоростного напора и низкой величины потенциальной энергии (отрицательной), доведённой до значений 9-9,5 м и способствующей созданию направленного потока воздуха или водовоздушных масс из области высокого давления в область отрицательного. Данной проблемой, в основном начиная со второй половины прошлого века и до настоящего времени, занимались учёные: Б.Э. Фридман, Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер, Ю.Л. Кирилловский, Л.Г. Подвидз, Х.Ш. Мустафин, Г.Е. Мускевич, В.Г. Цегельский, С.А. Тарасьянц.

Анализ проведённых исследований выявил отсутствие работ в области эксплуатации мелиоративных систем с использованием струйных аппаратов для создания отрицательной энергии в напорных трубопроводах при пуске насосных агрегатов, позволил сформулировать цель и задачи настоящих исследований.

Целью работы является техническое и технологическое обоснование способов удаления воздуха струйными аппаратами при заполнении напорных трубопроводов оросительных сетей.

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

- рассмотреть современные способы удаления воздуха из трубопроводов струйными аппаратами и транспортировки водовоздушной смеси;
- теоретически обосновать возможность удаления воздуха и создание вакуума в трубопроводах перед пуском агрегатов на опорожнённый трубопровод;
- провести экспериментальную проверку теоретических обоснований возможности заполнения напорных трубопроводов, вывести эмпирические зависимости для расчёта гидравлических параметров струйных аппаратов и напорной трубопроводной сети;
- разработать технологический процесс пуска, эксплуатации и остановки оборудования при заполнении напорного трубопровода по разработанной технологической схеме;

- экономически обосновать разработанный технологический процесс заполнения опорожнённых напорных трубопроводов мелиоративных насосных станций при первичных и межремонтных пусках гидромеханического оборудования.

Научная новизна:

- теоретическое обоснование возможности заполнения напорных трубопроводов перед пуском насосных агрегатов;
- методика расчёта гидравлических и геометрических параметров струйной системы удаления воздуха из напорной трубопроводной сети;
- экспериментальные закономерности влияния параметров центробежного насосного оборудования на степень разряжения в напорном трубопроводе;
- технологический процесс заполнения опорожнённых напорных трубопроводах при пуске насосных агрегатов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке методики теоретического обоснования возможности удаления воздуха и создания вакуума в напорных трубопроводах перед пуском насосных агрегатов на опорожнённый трубопровод, в выводе зависимостей для расчёта гидравлических параметров струйного аппарата и напорной трубопроводной сети.

Практическая значимость основана на разработке технологического процесса заполнения опорожнённых напорных трубопроводов при пуске насосных агрегатов, возможности упрощения эксплуатации насосных станций мелиоративного профиля.

Объект исследования. Основным объектом исследований является процесс создания условий предварительного заполнения напорного трубопровода перед пуском гидромеханического оборудования.

Предметом исследований является технологическая связь изменения гидравлических параметров напорного трубопровода при создании вакуума

струйными аппаратами с возможностью заполнения сети при пуске насосных агрегатов на опорожнённый трубопровод.

Методология и методы исследований. Исследования проведены в натуральных условиях на насосной станции первого подъёма ГУП «Кубаньвод-комплекс» с забором воды из реки Кубань для проверки разработанного теоретического обоснования возможности удаления воздуха и создания условий для заполнения напорного трубопровода при пуске насосных агрегатов. Исследования проводились с использованием современной измерительной аппаратуры и методических указаний В.А. Вознесенского по планированию эксперимента.

При обработке экспериментальных данных использовался ГОСТ 6134-2007 «Насосы динамические», ГОСТ 7-32-2001 «Отчёт о научно-исследовательской работе».

Положения, выносимые на защиту:

- методика теоретического обоснования возможности заполнения напорных трубопроводов перед пуском насосных агрегатов;
- эмпирическая зависимость расчёта гидравлических параметров струйного аппарата и напорной трубопроводной сети;
- технологический процесс заполнения опорожнённых напорных трубопроводов при пуске насосных агрегатов.

Степень достоверности и апробация.

Достоверность результатов подтверждена натурными исследованиями по существующим методикам.

Полученные результаты были представлены на научно-практических конференциях:

- Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. г. Махачкала. ФГБОУ ВО «Дагестанский ГАУ имени М.М. Джамбулатова», 29 апреля 2020 г;

- Международная научно-практическая интернет - конференция «Мелиорация как драйвер модернизации АПК в условиях изменения климата», г. Новочеркасск ФГБОУ ВО НИМИ Донской ГАУ 22-24 апреля 2024 г.

Участие в выставках:

– XXI Российская агропромышленная выставка «Золотая осень 2019» – второе место в конкурсе «За производство высокоэффективной сельскохозяйственной техники и внедрение прогрессивных ресурсосберегающих технологий»;

– Специализированная выставка «Агротехнология», состоявшаяся в рамках XXIII Агропромышленного форума юга России 26–28 февраля 2020 г. в г. Ростов-на-Дону;

– XXIV Всероссийская агропромышленная выставка «Золотая осень 2022» – первое место в конкурсе «За успешное внедрение инноваций в сельское хозяйство».

Результаты научно-исследовательских работ приняты для внедрения в ремонтно-эксплуатационном управлении ГУП «Кубаньводкомплекс» Краснодарского края. Струйный аппарат введён в эксплуатацию для создания вакуума в напорном трубопроводе при первичном заполнении водой перед пуском насосной станции первого подъёма на реке Казачий Ерик Темрюкского района Краснодарского края.

Личный вклад автора в получении результатов, изложенных в работе, заключается в анализе литературных данных, в обосновании направления исследований, проведении натурных исследований и обработке экспериментальных данных, формулировании выводов, предложений производству, перспектив дальнейшей разработки темы.

Публикации.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 10 печатных работах, в том числе четыре статьи – в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, четыре работы – в журналах и материалах Всерос-

сийских научных конференций, по теме получено 2 патента. Общий объём опубликованных работ 4,68 п.л., из них 3,80 п.л. принадлежит автору.

Структура и объём диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, заключения, списка используемой литературы и приложений. Работа изложена на 119 страницах машинописного текста и включает в себя 44 рисунка, 14 таблиц, 6 приложений, список используемой литературы из 122 наименований, из них 7 работ зарубежных авторов.

1 СТРУЙНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВОЗДУХА ИЗ ТРУБОПРОВОДОВ

Как правило струйные установки эксплуатируются с рабочим потоком, создаваемым дополнительным оборудованием [2, 7, 56, 58, 63, 84, 87, 103, 115]. При удалении воздуха из трубопроводов, во всасывающий трубопровод струйного аппарата, в сопле установки повышают скорость потока до величины с отрицательной потенциальной энергией вследствие увеличения кинетической энергии.

Отрицательная потенциальная энергия, в свою очередь, создаёт некоторую степень разряжения в трубопроводе, способную создать направленный поток воздуха в трубопроводах при заполнении. Подсасываемый струйным аппаратом поток воздуха с рабочей жидкостью удаляется по трубопроводам через камеру смешения и диффузор непосредственно в атмосферу или в ёмкость с водой, в зависимости от конструкции всей системы.

Необходимость удаления воздуха из трубопроводов и создания в них отрицательного давления широко используется в промышленности и сельском хозяйстве.

Одним из основных наглядных примеров необходимости создания разряжения является удаление воздуха из всасывающих трубопроводов насосного оборудования при их заполнении перед пуском [15, 16, 17, 25, 28].

1.1 Существующие схемы и конструкции водовоздушных струйных аппаратов

В существующих водовоздушных аппаратах в качестве рабочей среды используется вода, в качестве пассивной среды (подсасываемой) – воздух [48, 49, 50, 87, 103]. Струйные аппараты для отсоса воздуха из конденсаторов паровых турбин впервые использовались в тридцатые годы прошлого столетия [39, 50, 56, 57, 58]. В настоящее время струйные аппараты используются в качестве вакуумных насосов для паротурбинных установок [84, 103]. Особенностью эксплуатации струйных аппаратов для откачивания воздуха является создание глубокого вакуума, достигающего до -9,7 м. При эксплуатации

струйных аппаратов и постоянном давлении рабочей воды абсолютное разряжение определяется отношением выкаченной водовоздушной смеси и объёма смеси, которую способен откачивать струйный аппарат. Эффективность работы струйного аппарата при откачке воздуха, в основном, зависит от температуры рабочей жидкости и газовой смеси [58, 59, 87].

$$G_n = k(p_n - p_{н.н.}), \quad (1.1)$$

где k – коэффициент, определяемый по формуле:

$$k = \frac{Q_B}{R_B T_p},$$

Q_B – объёмный расход газовой смеси м³/с;

$p_{н.н.}$ – давление насыщенных водяных паров при температуре T_p , м;

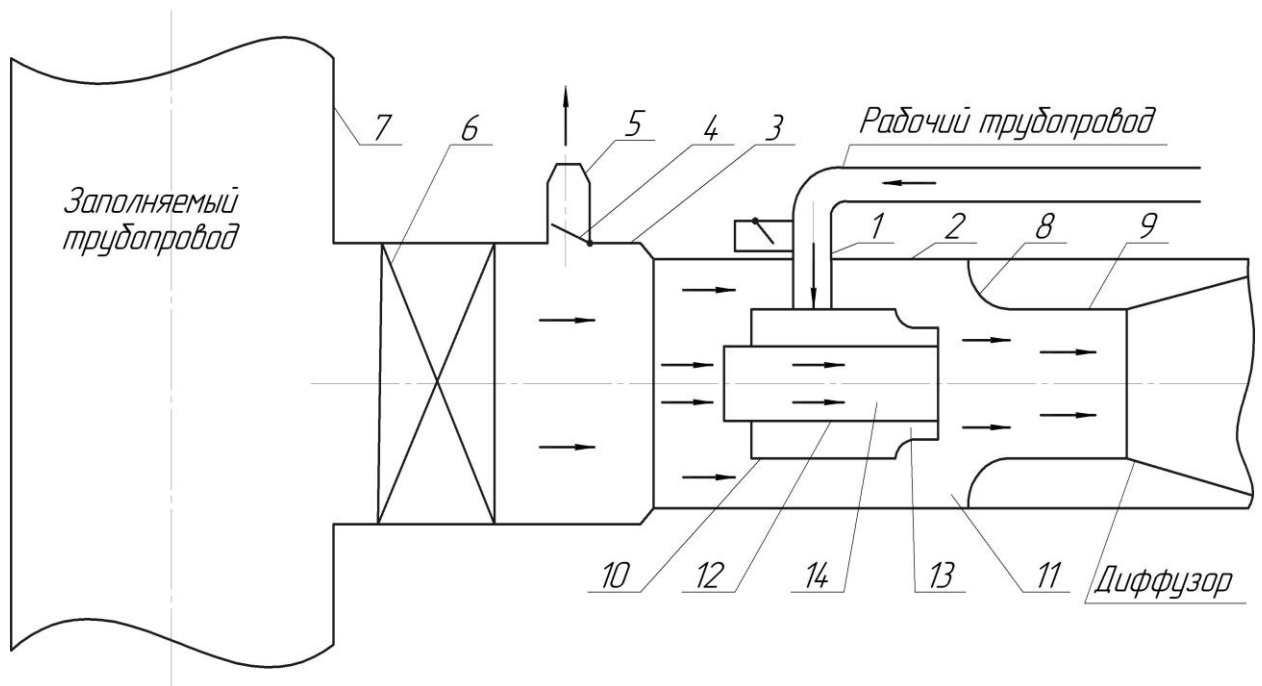
p_n – фактическое давление жидкости м;

T_p – град. К;

R_B – газовая постоянная для воздуха (287 Дж/(кг·К))

Для изменения коэффициента эжекции α_0 струйного аппарата необходимо уменьшение величины противодавления – фактически напора струйного аппарата H_Γ .

При возможности откачки водовоздушной смеси в атмосферу (рисунок 1.1) значение напора струйного аппарата H_Γ уменьшится до минимального при одновременном увеличении до максимума значения коэффициента эжекции α_0 , определяемого отношением подсасываемого расхода в корпусе струйного аппарата Q_1 к рабочему Q_0 подаваемому по рабочему трубопроводу. Струйный аппарат установлен таким образом, когда его корпус 2 вмонтирован всасывающим трубопроводом в рабочий трубопровод 3 оборудованный клапаном сброса воздуха 4 в сопле 5. При первоначальном заполнении через сопло 5 сбрасывается воздух, при заполненном трубопроводе сбрасывается вода, что означает полное первичное заполнение трубопровода 7, при этом задвижка закрывается, струйный аппарат отключается.

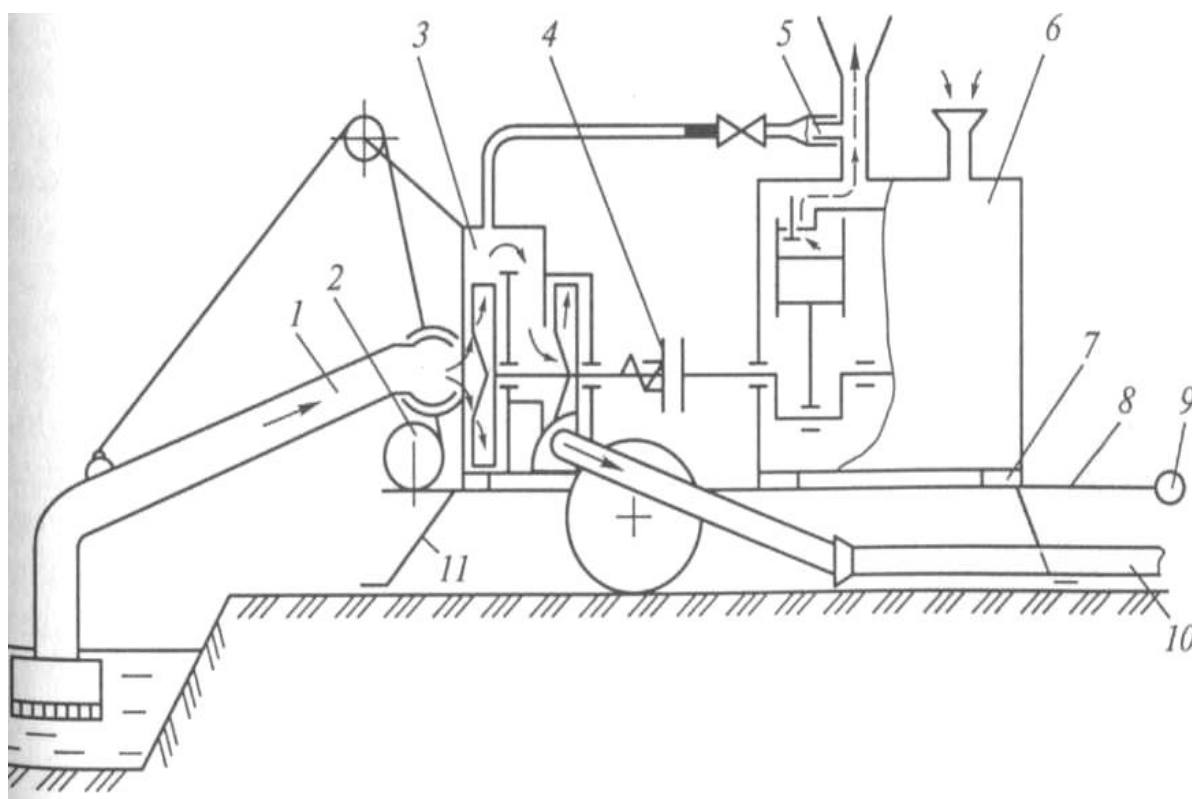


- 1 – трубопровод подачи воды; 2 – корпус аппарата; 3 – рабочий трубопровод; 4 – клапан; 5 – сопло; 6 – задвижка; 7 – трубопровод; 8 – конфузор; 9 – камера смешения; 10 – сопло наружное; 11 – пространство вакуумное внешнее; 12 – сопло внутреннее; 13 – щель; 14 – пространство вакуумное внутреннее

Рисунок 1.1 – Конструктивная схема удаления воздуха из трубопроводов струйным аппаратом

В данном случае водовоздушная смесь выходит в атмосферу из сопла 5, и рабочая вода поступает в патрубок 1, выходя с увеличенной скоростью из щели между внутренним соплом 12 и внешним соплом 10, создавая значительный вакуум во внутреннем вакуумном пространстве 14 и внешнем вакуумном пространстве 11. Отсос воздуха производится через смеситель 9.

По такому принципу работают струйные аппараты, предназначенные для откачки воздуха из ёмкостей при наличии рабочего потока для ввода жидкости в сопло струйного аппарата. Одним из способов создания вакуума во всасывающих трубопроводах передвижных насосных станций является ввод выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания в струйный аппарат, в таком случае воздух из трубопровода выводится из сопла 5 и всасывающего трубопровода 1 (рисунок 1.2).



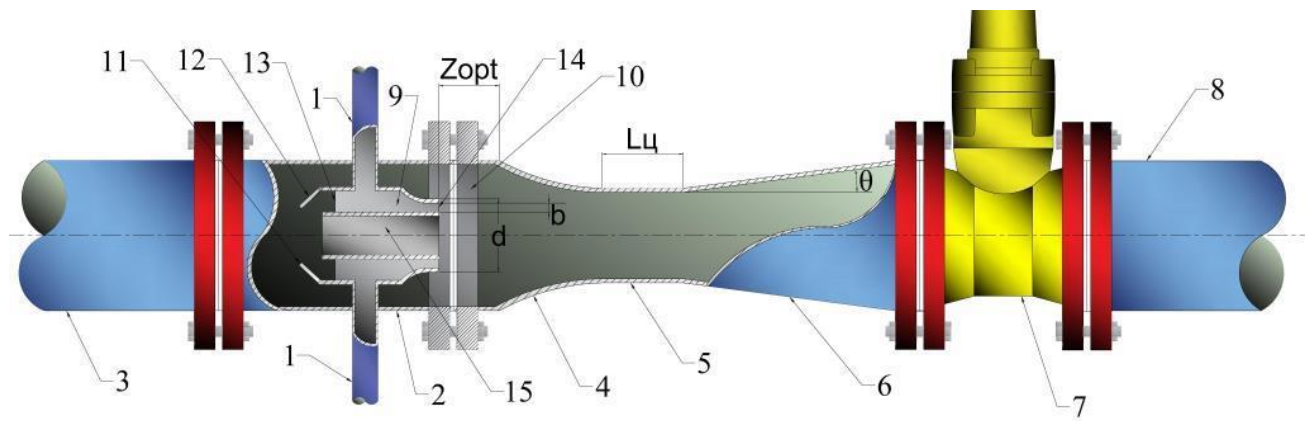
- 1 - всасывающая труба; 2 - лебёдка; 3 - насос; 4 - соединительная муфта;
 5 - эжектор; 6 - двигатель; 7- амортизаторы; 8 - рама; 9 – прицепное устройство;
 10 – трубопровод напорный; 11 - опора

Рисунок 1.2 – Передвижная насосная станция

В патенте [69] предложен метод создания вакуума в трубопроводах насосных агрегатов с помощью струйного аппарата (рисунок 1.3) по схеме (рисунок 1.4). Схема включает в себя напорные трубопроводы, врезанные в единый коллектор, торец которого является рабочим трубопроводом струйного аппарата с всасывающим трубопроводом для забора подсасываемых элементов (вода, животноводческие стоки, воздух, удаляемый из трубопроводов) и напорным врезанным во всасывающие трубопроводы основных насосных агрегатов.

Струйный аппарат данной конструкции прошёл апробирование на насосной станции Ставропольского края.

Разработаны способы использования струйного аппарата, всасывающий трубопровод которого врезан в трубопровод подачи животноводческих стоков для увеличения всасывающей способности (рисунок 1.5, 1.6).



1 – подвод рабочей жидкости; 2 – корпус струйного аппарата; 3 – всасывающий трубопровод; 4 – конфузор; 5 – смеситель; 6 – диффузор; 7 – задвижка; 8 – трубопровод пульпы; 9 – сопло наружное; 10 – вакуумное пространство (наружное); 11,12 – обратный клапан; 13 – сопло внутреннее; 14 – щель кольцевая; 15 – вакуумное пространство (внутреннее)

Рисунок 1.3 – Напорно-вакуумная установка

Установка на рисунке 1.3 оборудована струйным кольцевым двухповерхностным аппаратом с повышенными энергетическими характеристиками за счёт уменьшения потерь напора в смесителе вследствие изменения длины смесителя (укорочения) (поз. 5) и эпюры скорости потока перед диффузором (поз. 6).

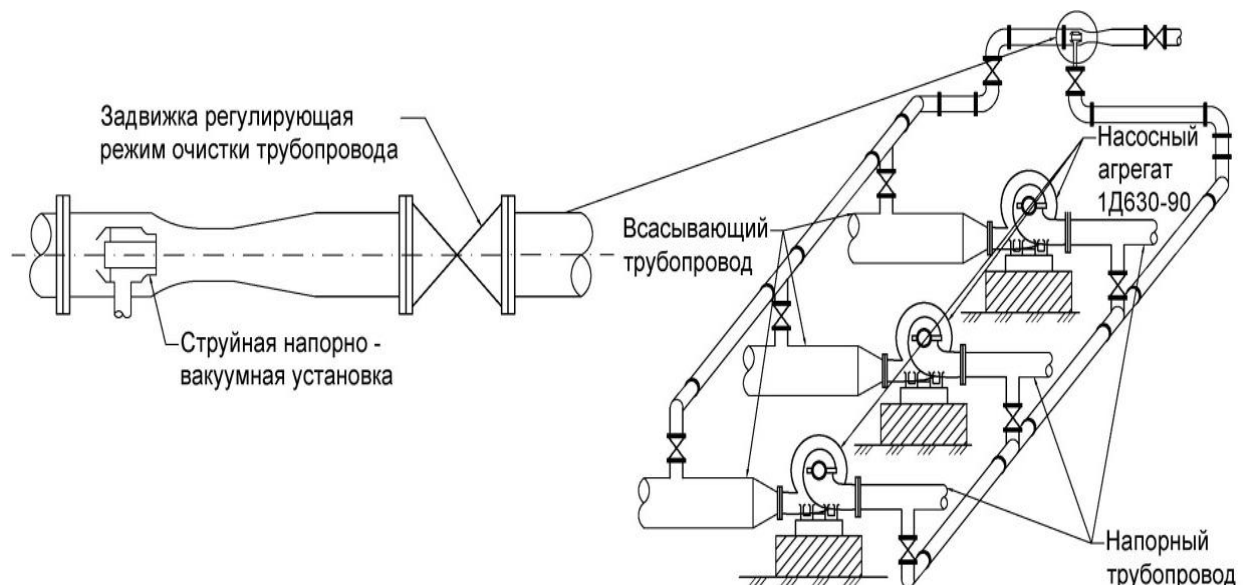


Рисунок 1.4 – Схема для создания вакуума во всасывающих трубопроводах насосных агрегатов

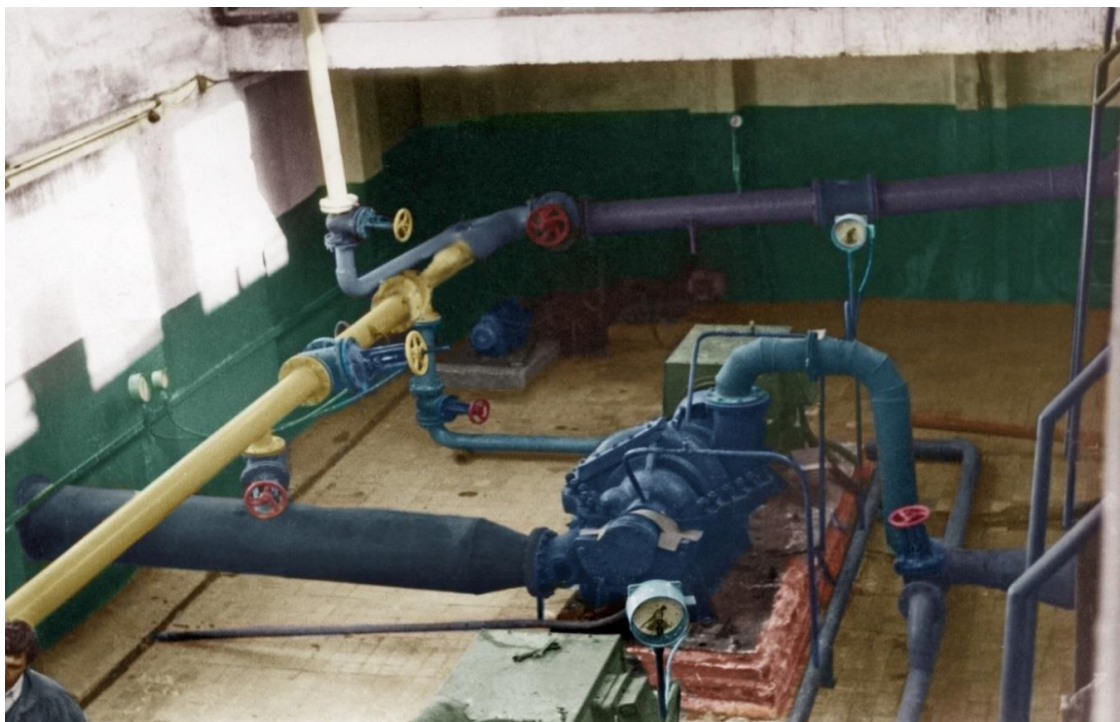
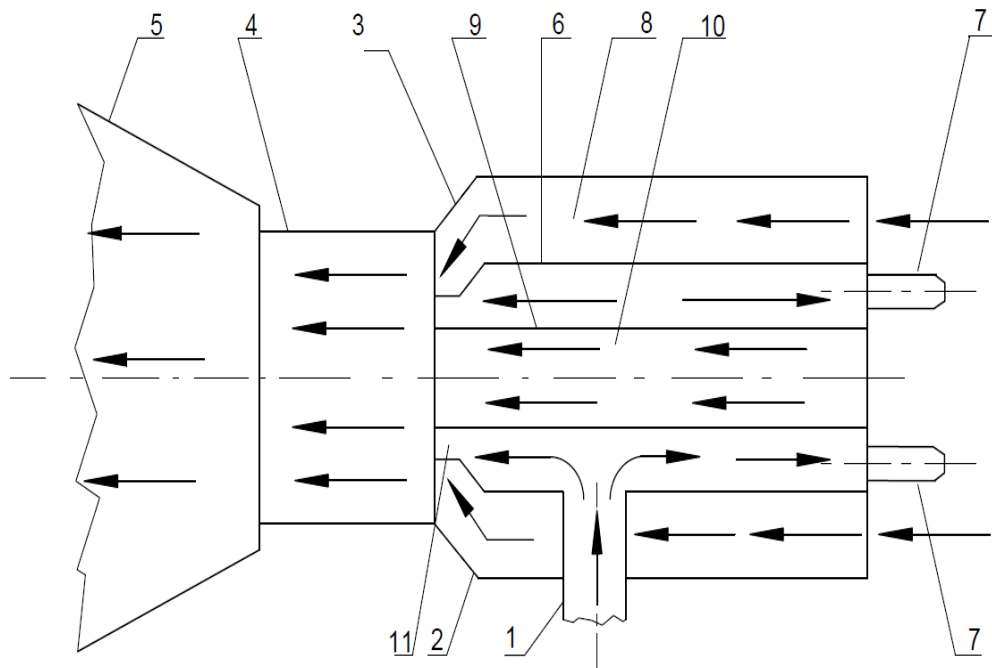


Рисунок 1.6 – Трубопровод насосной станции ООО «Калалинское»
Красногвардейского района Ставропольского края

Для создания высокого вакуума и увеличенной, по сравнению с центробежными насосами, всасывающей способностью струйные аппараты применяются на всасывающих трубопроводах землесосных установок (рисунок 1.7).

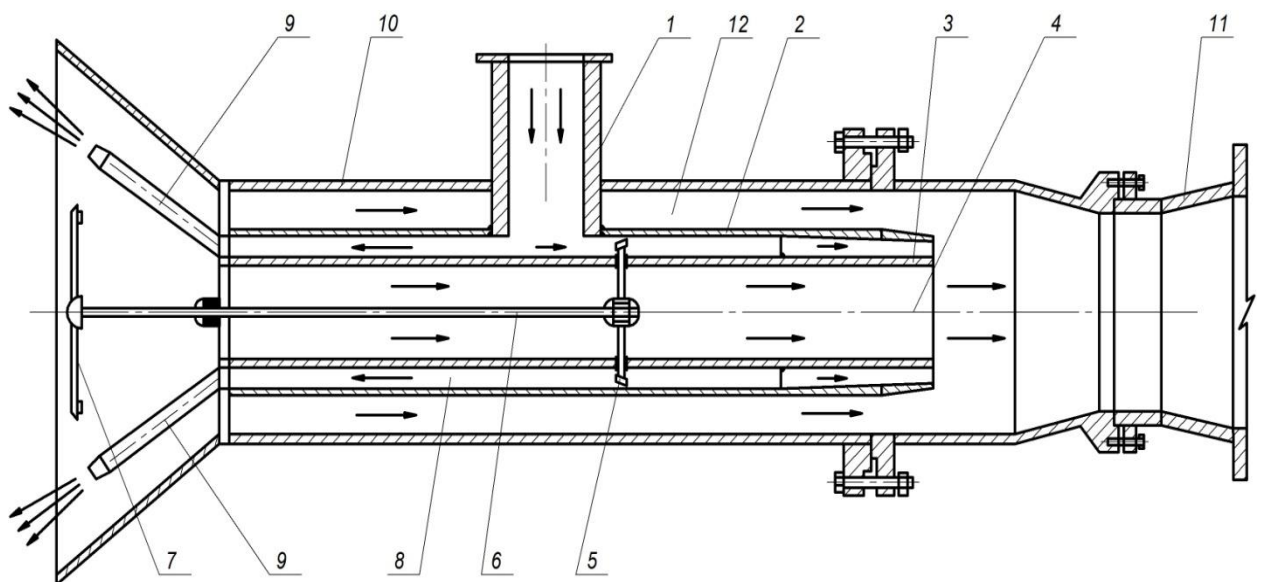
В струйном насосе трубопровод врезан в стакан, в заднюю торцевую часть которого закреплены насадки для выхода напорных размывающих струй внешнего вакуумного пространства. Аппарат работает следующим образом: вода под напором по трубопроводу 1 через стакан 2 подаётся в щель 11 между соплами 6 и 9 с высокой скоростью, способствующей созданию вакуума в смесителе 4, сообщаемым через конфузор 3 с внешним 8 и внутренним 10 вакуумными пространствами. Принцип работы струйного аппарата заключается в использовании внешнего и внутреннего вакуумных пространств.

По данному принципу эксплуатируются насосы при необходимости увеличения глубины отложений (рисунок 1.8) [71].



- 1 - трубопровод рабочий; 2 – стакан; 3 – конфузор; 4- камера смешения; 5 – диффузор;
 6 –сопло внешнее; 7 – насадки; 8 –вакуумное пространство внешнее;
 9 – сопло внутреннее; 10 –вакуумное пространство внутреннее; 11 –щель кольцевая

Рисунок 1.7 – Струйный аппарат для очистки колодцев

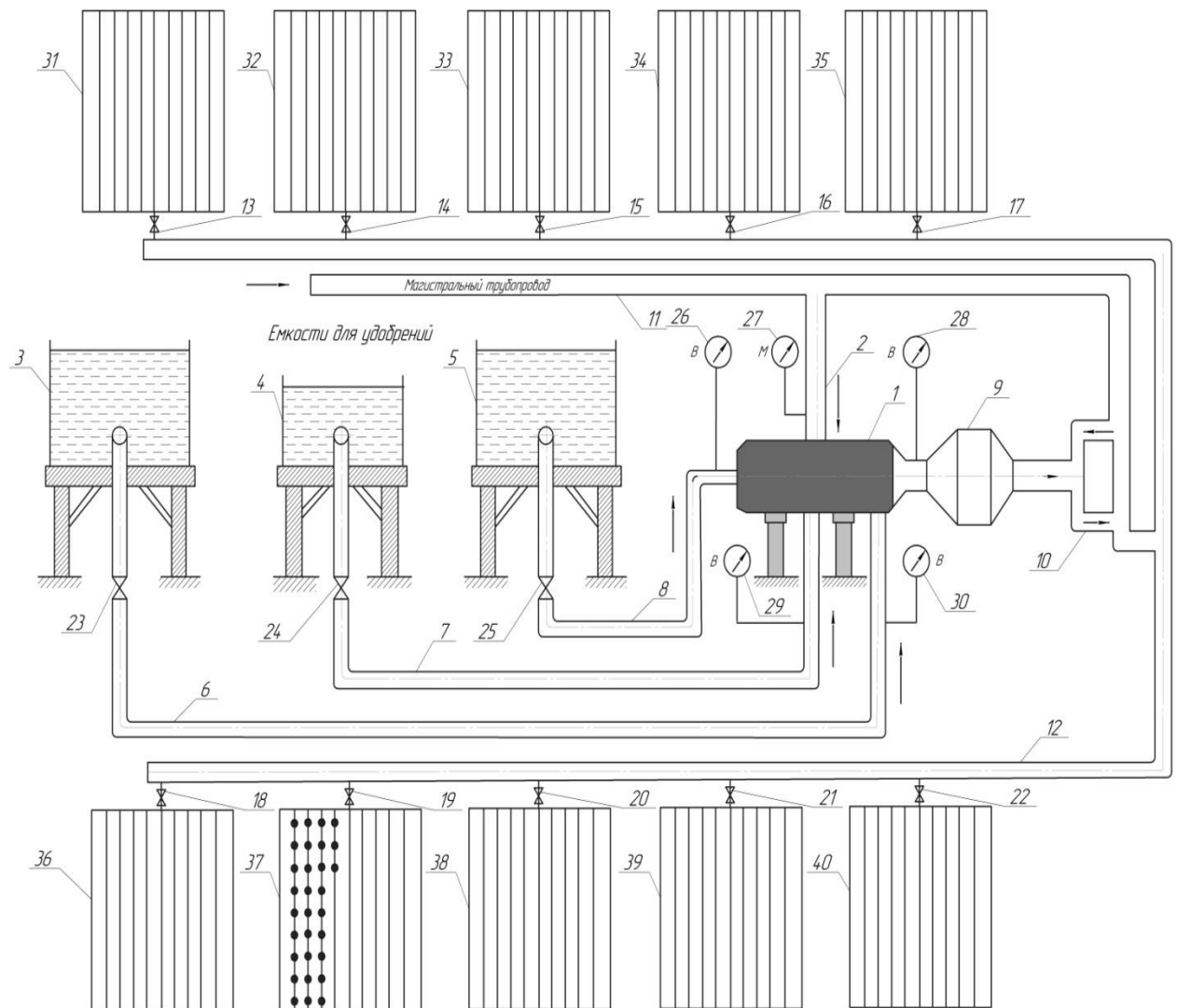


- 1 – трубопровод рабочей жидкости; 2 –сопло внешнее; 3 –сопло внутреннее;
 4 – вакуумное пространство; 5 –опора подшипниковая; 6 – вал колеса; 7 – колесо;
 8 – трубопровод; 9 – рыхлитель; 10 – корпус; 11 – диффузор; 12 –вакуумное пространство
 внешнее

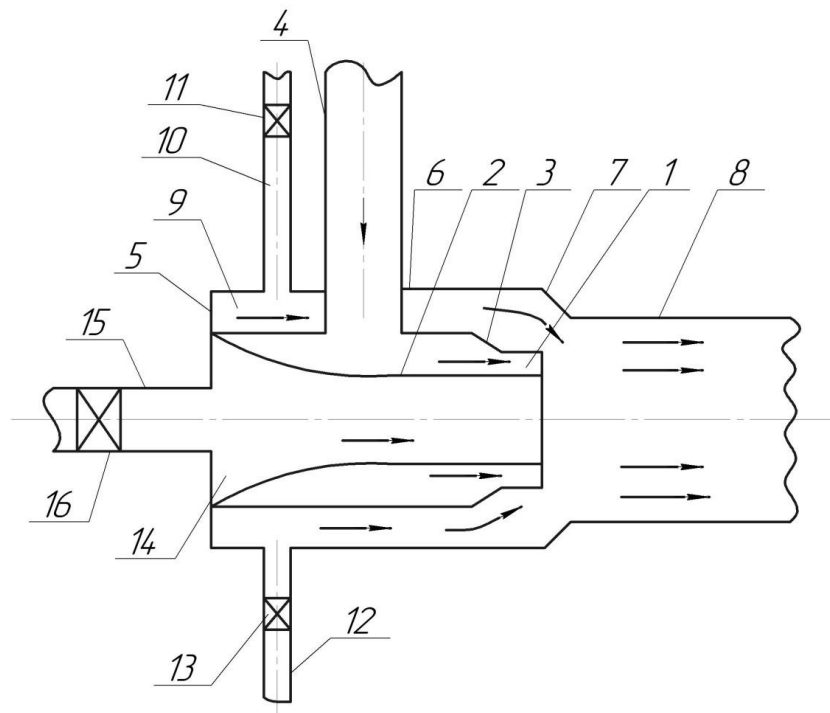
Рисунок 1.8 – Схема аппарата для разработки ила

С помощью создания вакуума во всасывающих трубопроводах проводится забор, смешение с водой и транспортировка всех видов удобрений на орошаемые участки по схеме (рисунок 1.9).

Для такого вида работ используются струйные высокоэффективные четырёхкомпонентные аппараты [72, 80] (рисунок 1.10).



1–аппарат струйный; 2 –трубопровод рабочий; 3, 4, 5 – ёмкости;
 6, 7, 8 –трубопроводы всасывающие; 9 –трубопровод напорный; 10 – байпас;
 11 –трубопровод магистральный; 12 –трубопровод распределительный;
 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25– запорная арматура; 26, 27, 28, 29,
 30 – измерительная аппаратура; 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 – опытные участки
 Рисунок 1.9 – Технологическая схема подачи удобрений на опытные участки
 с использованием струйного четырёхкомпонентного насоса смесителя



1 – кольцо; 2 – сопло внутреннее; 3 – сопло внешнее; 4 – трубопровод рабочей воды;
 5 – заглушка; 6 – корпус; 7 – конфузор; 8 – смесительная камера; 9 – вакуумное
 пространство внешнее; 10 – трубопровод удобрений; 11, 13, 16 – запорная арматура;
 12 – трубопровод удобрений; 14 – вакуумное пространство внешнее; 15 – трубопровод
 животноводческих стоков

Рисунок 1.10 – Струйный кольцевой четырёхкомпонентный аппарат

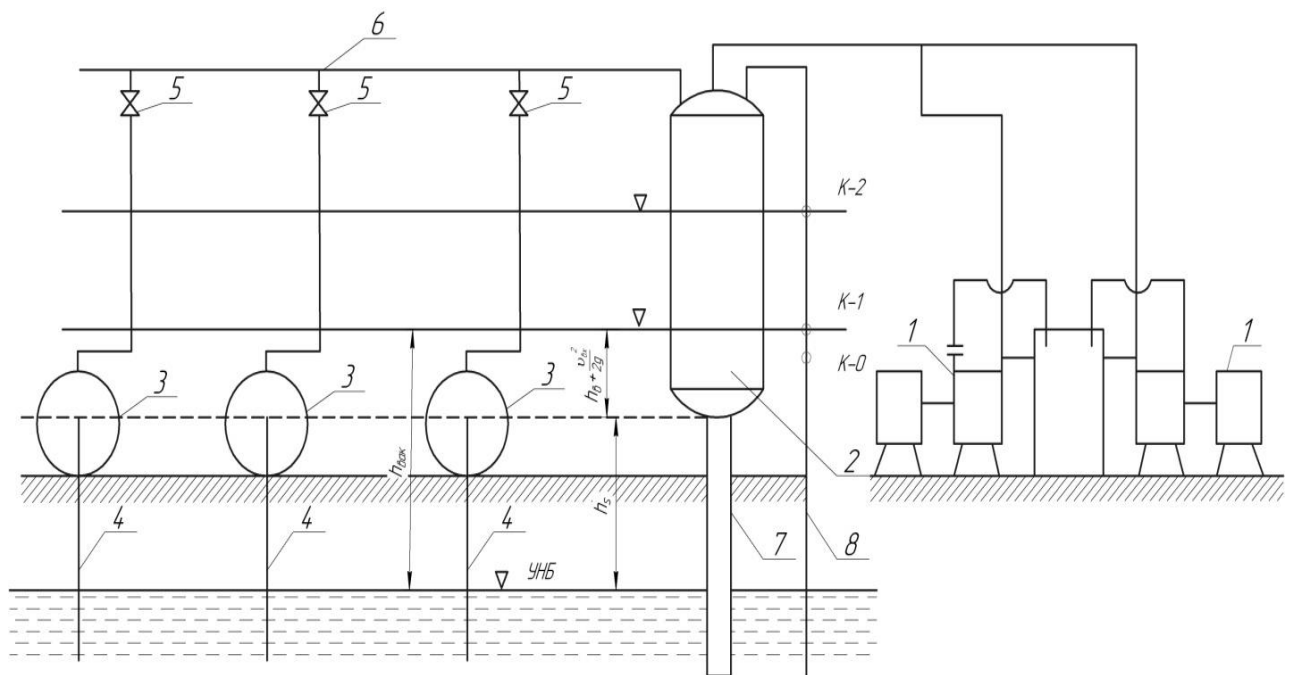
Вышеизложенное доказывает наличие вакуума во всасывающих трубопроводах струйных аппаратов и возможность использования такого вида устройств для транспортировки жидких удобрений.

Недостаток атмосферного давления (вакуум) в корпусе кольцевого четырёхкомпонентного смесителя удобрений позволяет врезать дополнительных двух всасывающих трубопроводов (позиции 10,12) для забора микроудобрений одновременно с забором животноводческих стоков по основному всасывающему трубопроводу (поз. 15).

Анализ использования струйных аппаратов в промышленности показывает, что в установках такого рода все оптимальные расчётные показатели, в основном, зависят от скорости потока в камере смешения и величины кинетической энергии в корпусе аппарата.

1.2 Установки для удаления воздуха и создания вакуума во всасывающих трубопроводах центробежных насосов

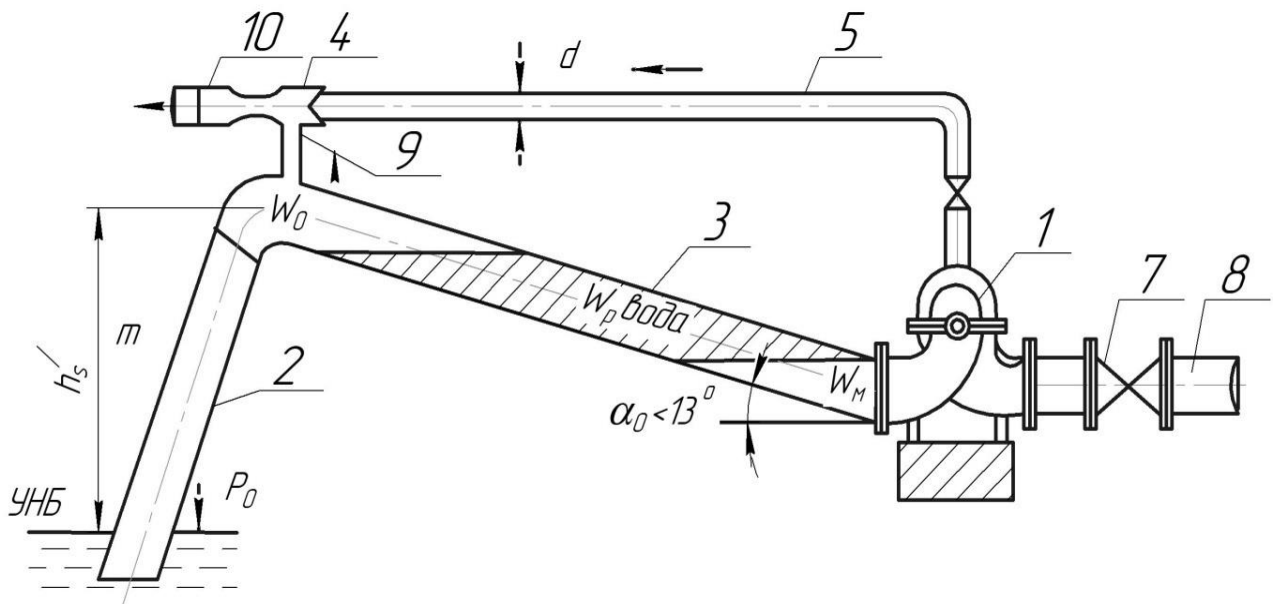
Насосное оборудование при положительной высоте всасывания пускается при заполненном всасывающем трубопроводе перекачиваемой жидкостью с помощью вакуум-систем. Как правило, для создания вакуума применяются водокольцевые вакуум-насосы типа КВН, ВВН, РМК [84, 112], в эксплуатации которых есть ряд серьёзных недостатков. При первоначальном запуске вакуум-насосов используются вакуумные резервуары, что создаёт неудобства их эксплуатации, кроме того, в принципе работы их подача постепенно меняется, что изменяет время заполнения всасывающих трубопроводов и корпуса насоса (рисунок 1.11).



1 – вакуумный насос; 2 – вакуум-ёмкость; 3 –насосы основные; 4 –трубопровод всасывающий; 5 – задвижки; 6 – трубопровод магистральный; 7 – трубопровод вакуум-котла; 8 – трубопровод электроконтактный

Рисунок 1.11 – Вакуум-система на насосных станциях

Известно, что при использовании трубопроводов для заполнения центробежных насосов (рисунок 1.12) всасывающие трубопроводы заполняются водой.



1 – насос; 2 – восходящая ветвь; 3 – нисходящая ветвь; 4 – струйный насос; 5 – линия эжекторная; 6 – трубопровод удаления воздуха; 7 – задвижка; 8 – напорный трубопровод; 9 – трубопровод воздухоотсасывающий; 10 – трубопровод сбросной

Рисунок 1.12 – Схема заполнения насосов перед пуском

При пуске насосных агрегатов всасывающий трубопровод заполняется водой, восходящая ветвь – воздухом. Вода, захватывает воздух и автоматически происходит самозалив. При остановке вода находится на уровне гребня колена, и последующий пуск происходят без искусственного заполнения.

Основным условием пуска насоса является наличие отрицательного давления во всасывающем трубопроводе. Объем воды W_p , находится в соотношении с объемом воздуха и вычисляется по выражению:

$$W_p = \frac{P_0 W_0}{P_0 - \rho h'_s} \quad (1.2)$$

Основным элементом, при подаче с трубопроводом и приподнятым коленом, обеспечивается струйным аппаратом, способным исключить попадание воздуха в напорный трубопровод.

Устройство состоит из воздушного струйного аппарата 4, напорного 5, водоотсасывающего 9 и сбросного 10 трубопроводов.

При удалении воздуха струйным аппаратом происходит понижение давления в трубопроводе водоисточника. Открывается задвижка в трубопроводе, и насос переводят в эксплуатационный режим.

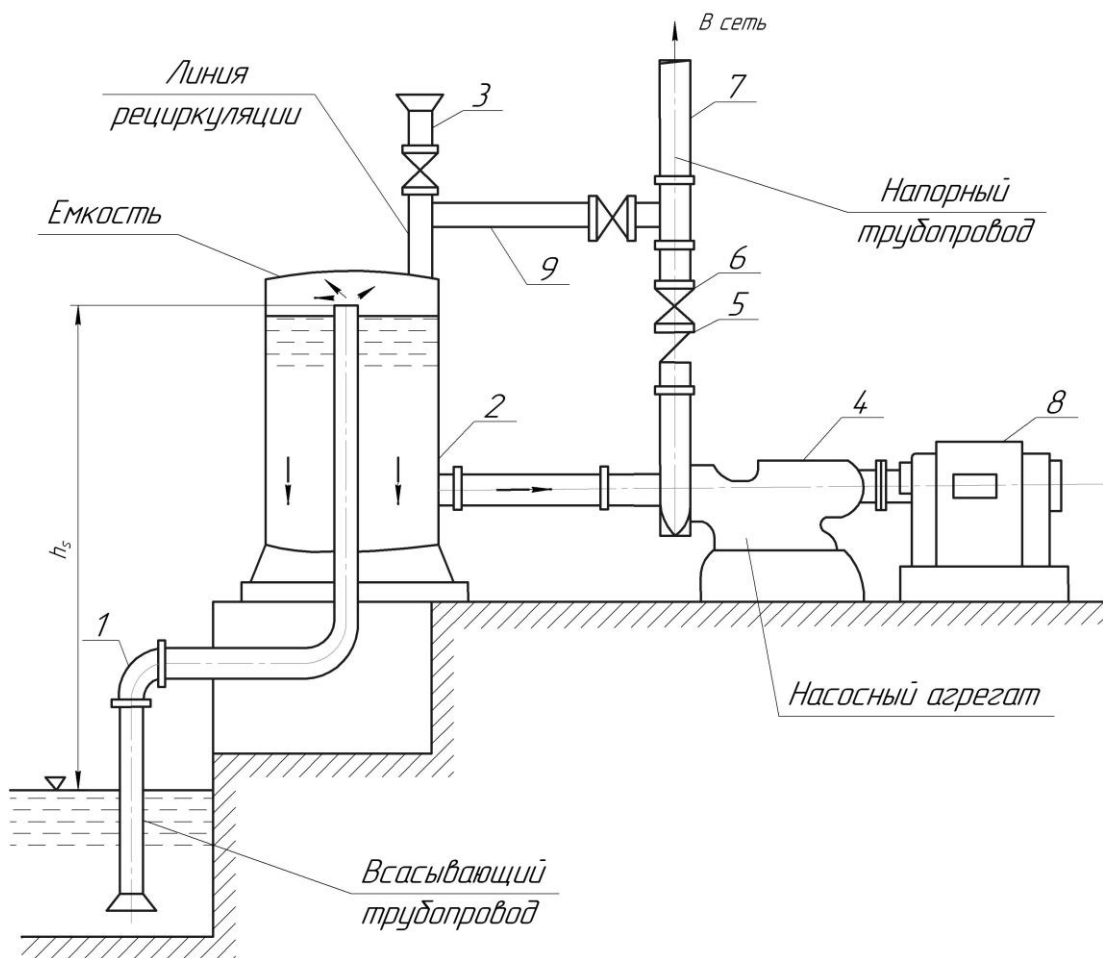
Объём воды W_p при удалении воздуха определяется по зависимости:

$$W_p = Q \cdot t, \quad (1.3)$$

где Q – подача струйного аппарата $\text{м}^3/\text{с}$;

t – время эксплуатации, час

Разновидностью устройства при заполнении насоса является специальный резервуар (рисунок 1.13) [22, 27, 112].

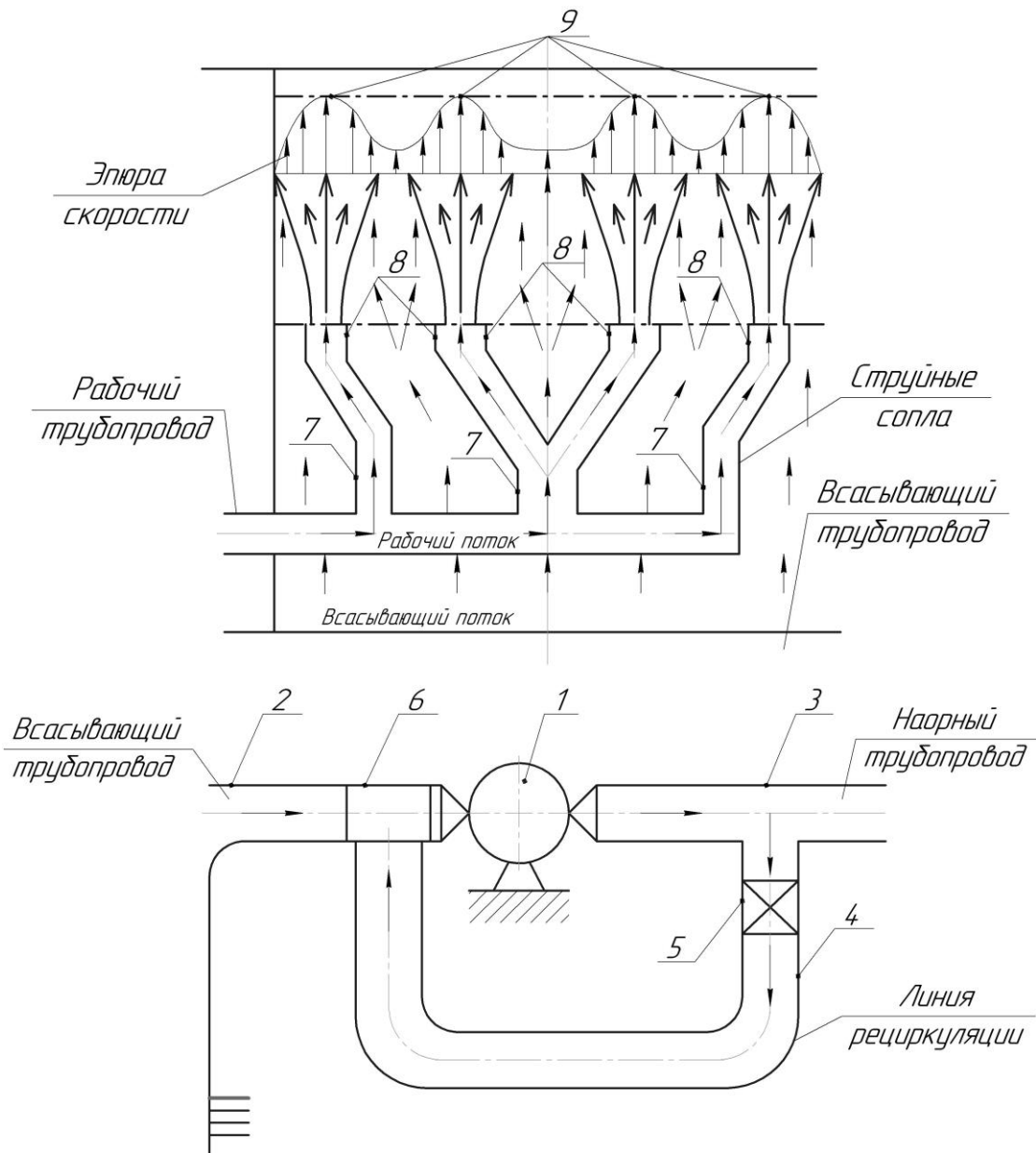


1 – всасывающий трубопровод; 2 – ёмкость; 3 – воздухоотвод; 4 – насос; 5 – обратный клапан; 6 – задвижка; 7 – трубопровод напорный; 8 – трубопровод накопителя

Рисунок 1.13 – Схема заполнения с резервуаром

Схема состоит из трубопровода 1, резервуара 2, воздухоотвода 3, насоса 4, обратного клапана 5, задвижки 6, напорного трубопровода 7, трубопровода резервуара 8.

Для удаления вакуума из всасывающих трубопроводов центробежных насосов с двусторонним входом используется установка для увеличения всасывающей способности насосов (кавитационного запаса) (рисунок 1.15). Кавитационный запас определяется величиной, превышающей значение 0,24 м выше атмосферного, для температуры 20°C, при других температурах значение 0,24 м пересчитывается.



1 – центробежный насос; 2 – всасывающий трубопровод; 3 – напорный трубопровод; 4 – рециркуляционная линия; 5 – задвижка; 6 – струйный аппарат; 7 – напорный трубопровод аппарата; 8 – насадки; 9 – эюра скорости

Рисунок 1.15 – Схема струйного аппарата установленного в центробежном насосе

Вышеописанное является небольшой частью всего объёма использования струйных аппаратов в эксплуатации насосного оборудования и других устройств, применяемых в промышленности и сельском хозяйстве.

1.3 Методы гидравлического расчёта водовоздушных установок для создания вакуума в трубопроводах, оборудованных струйными аппаратами

В качестве основной зависимости при расчётах жидкостно-газовых аппаратов (вакуумные струйные насосы) используется уравнение изменения количества движения (теорема импульса сил) [39, 48, 49, 50, 83, 87, 88, 99, 110].

Основные методики разработаны в конце прошлого века Б.Ф. Лямаевым, Н.М. Зингером [39, 50, 87], в данной методике используются расчётные зависимости теоремы импульсов, сущность всех методик составляют эмпирические зависимости. При расчёте жидкостно-газовых эжекторов так же, как и жидкостно-жидкостных, используется объёмный коэффициент эжекции

$$\alpha_o = Q_1/Q_o, \quad (1.4)$$

где Q_1 – подсасываемый расход воздуха;

Q_o – рабочий расход.

Поведение водяной струи в воздушной среде достаточно подробно описано в работе [84].

При расчётах используется рассмотрение вопросов:

- поведение рабочей струи в воздушной среде;
- преобразование энергии в струйном аппарате из кинетической в потенциальную (скоростного напора в отрицательное давление).

Все струи с начальным радиусом r_n имеют вид расширяющегося конуса, соотношение между длиной конуса l_k и его радиусом в конце струи r_k зависит от плотности жидкости в воздушной струе и, по мнению проф. Г.А. Аронса, определяется уравнением:

$$l = \frac{4\rho_o r_n}{3\Psi} \left(\frac{r_n}{r} - 1 \right), \quad (1.5)$$

где Ψ – угол раскрытия струи.

При трении о воздушную струю частицы жидкости на наружной образующей имеют меньшую скорость, чем у оси, поэтому передняя часть струи приобретает вид сферической поверхности с радиусом

$$R = r_n \left(\frac{r}{r_n} \right)^4 \quad (1.6)$$

Длина струи зависит от плотности и определяется по зависимости проф. Г.А. Аронса [1]

$$l_{кр} = 620 \frac{1}{\Psi \rho} r_n \quad (1.7)$$

Объём рабочей жидкости $W_{р.в}$ (м³) определяется по зависимости [50]

$$W_{р.в} = \frac{\Psi \rho \omega^2}{\xi g} \quad (1.8)$$

фактически определяющей поверхность для каждого м³ воды, где ω – поверхность водяных струй, ξ – угол раскрытия струи (в пределах 15 °).

При преобразовании энергии в струйном аппарате из кинетической в потенциальную энергия расходуется на нагнетание воды и снятие воздушной части. В случае, когда струйный аппарат расположен вертикально, зависимость, по которой определяется давление подсасываемого воздуха, выглядит следующим образом [50]:

$$p_{под}^{воз} = \frac{p_a - p_2}{\rho} + URT_o \left[\ln \frac{p_a}{p_e} + p_{нап}^{нас} \left(\frac{1}{p_a'} - \frac{1}{p_{\delta}''} \right) \right] \quad (1.9)$$

По уравнению определяется количество воздуха, захватываемого литром воды, в случае, когда расход струйного аппарата по воздуху задаётся, рабочий расход струи и давление определяются по вышеприведённым зависимостям (1.8, 1.9).

Б.Ф. Лямаев [50] для определения массового расхода воздуха предлагает использовать зависимость (1.10)

$$G_n = \frac{p_n Q_n}{R_g T_n} \quad (1.10)$$

где Q_n , T_n – соответственно объёмный расход и абсолютная температура сухого воздуха на входе.

Проведя некоторые преобразования, Б.Ф. Лямаев [50] получил зависимость для определения коэффициента эжекции $\alpha_o = Q_n/Q_p$. Фактически полученная зависимость не отличается от зависимостей для жидкостно-жидкостных струйных аппаратов, за исключением наличия в формуле (1.10) значения величины T_n – абсолютной температуры сухого воздуха.

Существуют и другие методики Г.И. Ефимочкина и Л.Д. Бермана [37], дающие такие результаты, в которых все значения напоров, подъёма и коэффициентов смешения предлагаются для определённых интервалов значений геометрических характеристик, причём в работе всех авторов указывается на низкие значения КПД (до 30–35 %) существующих конструкций струйных аппаратов [48, 55, 58, 66].

Выводы по главе

1. Анализ эксплуатируемых схем удаления воздуха из всасывающих и напорных трубопроводов показывает, что существующие конструкции установок предусматривают, в основном, вакуум-насосы, при заполнении напорных трубопроводов устанавливают дорогостоящие конструкции клапанов сброса воздуха (вантузы), монтируемые по трассе, сложные в устройстве и дорогие в эксплуатации.

2. Существующие методы расчёта расхода воздуха по расходу и напору воды основаны на рекомендациях Г.А. Аронса, Б.Ф. Лямаева, предусматривающих вовлечение воздушного насоса в водяную напорную струю с отсут-

ствием возможности определения геометрических размеров и гидравлических параметров элементов струйной установки.

3. КПД предлагаемых в литературе современных струйных аппаратов сравнительно низок и достигает 33-36 %.

На основании вышеизложенного, сформулированы цель и задачи настоящих исследований.

Целью работы является техническое и технологическое обоснование способов удаления воздуха струйными аппаратами при заполнении напорных трубопроводов оросительных сетей.

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

- рассмотреть современные способы удаления воздуха из трубопроводов струйными аппаратами и транспортировки водовоздушной смеси;
- теоретически обосновать возможность удаления воздуха и создание вакуума в трубопроводах перед пуском агрегатов на опорожнённый трубопровод;
- провести экспериментальную проверку теоретических обоснований возможности заполнения напорных трубопроводов, вывести эмпирические зависимости для расчёта гидравлических параметров струйных аппаратов и напорной трубопроводной сети;
- разработать технологический процесс пуска, эксплуатации и остановки оборудования при заполнении напорного трубопровода по разработанной технологической схеме;
- экономически обосновать разработанный технологический процесс заполнения опорожнённых напорных трубопроводов мелиоративных насосных станций при первичных и межремонтных пусках гидромеханического оборудования.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАПОЛНЕНИЯ ВСАСЫВАЮЩИХ И НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ СТРУЙНЫМИ АППАРАТАМИ

Методы расчёта водовоздушных струйных аппаратов, предложенные авторами [1, 56, 57, 58, 83, 115, 117], до настоящего времени представляют собой, в основном, эмпирические зависимости, позволяющие получить приближённые расчёты.

Следует иметь в виду, что масса подсасываемого воздуха меньше массы рабочего потока (воды) и не может изменить скорость струи как в сопле, так и в камере смешения.

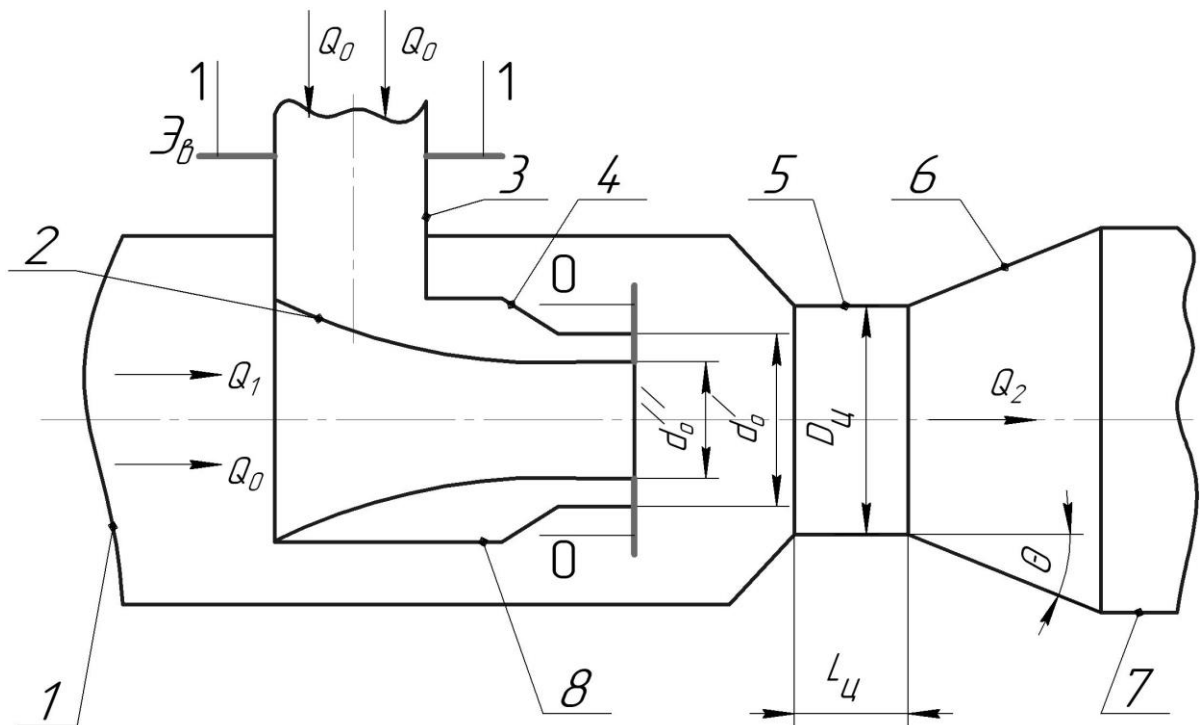
Возможность создания вакуума в трубопроводах, врезанных во всасывающую линию струйных аппаратов, неоднократно доказана в литературных источниках [91, 92, 93, 94, 95, 100, 107].

Известно также, что скорость распространения величины разряжения в корпусе зависит от подачи и рабочего потока и, соответственно, от расхода воздушного потока из трубопровода. В задачи теоретического обоснования входит:

- определение гидравлических параметров, определяющих величину отрицательного давления в корпусе струйного аппарата в зависимости от скоростного напора в сопле и камере смешения;
- теоретическое определение расхода подсасываемого потока в зависимости от напора в напорном распределительном трубопроводе аппарата;
- изменение коэффициентов гидравлического сопротивления элементов водовоздушного струйного аппарата;
- определение оптимальных относительных геометрических размеров, гидравлических параметров водовоздушных аппаратов;
- разработка методики расчёта оптимальных параметров водовоздушного струйного аппарата.

2.1 Теоретическая зависимость величины вакуума в корпусе струйного аппарата от скоростного напора в сопле камеры смешения

Для вывода теоретической зависимости определения величины вакуума в сопле и камере смешения струйного аппарата рассматривается конструкция наиболее энергетически эффективного аппарата с кольцевой двухповерхностной рабочей струей [67, 68].



1 – трубопровод; 2 – сопло внутреннее; 3 – трубопровод рабочий; 4 – сопло наружное;
5 – камера смешения; 6 – диффузор; 7 – трубопровод распределительный; 8 – корпус

Рисунок 2.1 – Схема кольцевого струйного аппарата

При рассмотрении конструкции, (рисунок 2.1), приняты оптимальные размеры с характеристикой $m = 2,0$ [90, 101, 102, 103, 109] – (отношение поперечного сечения камеры смешения к площади сопла).

- длина камеры смешения

$$\bar{L}_u = 2D_u, \quad (2.1)$$

- отношение $d'_u/D_u = 0,9$,

- угол раскрытия диффузора $\theta = 6^\circ$.

Полная энергия в сопле $\mathcal{E}_n$, отнесённая к единице веса, определяется как сумма потенциальной $\mathcal{E}_{n.c.} = p_c / g\rho_o$ (для установки аппарата в атмосфере) и кинетической (скоростного напора) $\mathcal{E}_{к.с.} = V_o^2 / 2g$ (V_o – скорость в сопле).

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_{n.c} + \mathcal{E}_{к.с} = \frac{p_c}{g\rho_o} + \frac{V_o^2}{2g}. \quad (2.2)$$

Фактически энергия в сопле $\mathcal{E}_c$ есть энергия входа в сечение 1–1 (см. рисунок 2.1), $\mathcal{E}_c - \sum h w_{1-0}$, где $\sum h w_{1-0}$ – потери напора в сопле от сечения 1–1 до 0–0.

Величина $\sum h w_{1-0} = \zeta_o \frac{V_o^2}{2g}$, где ζ_o – коэффициент гидравлического сопротивления в сопле (определяется по проведённым экспериментальным зависимостям (см. раздел 3)).

Скоростной напор $\frac{V_o^2}{2g}$ – по расчётной скорости

$V_o = \varphi \sqrt{2gH_n}$, где H_n – напор рабочего потока перед соплом. При выходе пото-

ка из сопла в камеру смешения потенциальная энергия $\mathcal{E}_{к.с} = \frac{p_{к.с}}{g\rho_o}$ практически

не изменяется и находится на уровне потенциальной энергии в сопле

$$\mathcal{E}_{n.c} = \frac{p_c}{g\rho_o},$$

$$\mathcal{E}_{к.с} = \mathcal{E}_{n.c} = \frac{p_c}{g\rho_o} = \frac{p_{к.с}}{g\rho_o}. \quad (2.3)$$

Значение кинетической энергии в камере смешения изменяется в зависимости от величины скоростного напора вследствие изменения коэффициента эжекции $\alpha_o = Q_1 / Q_o$ (отношение подсасываемого расхода Q_1 к рабочему Q_o).

Пример расчёта гидравлических параметров струйного аппарата при подаче рабочего потока центробежным насосом Д1600-90 с диаметром рабочего колеса $D_{р.к} = 540$ мм и частотой вращения $n = 1450$ мин⁻¹ (рисунок 2.2, таблица 2.1) [38]. Пример основан на основе литературных источников [40, 41, 42, 43, 44, 45, 49, 55] и теоретических разработок настоящей работы [67, 68, 72, 76, 101, 104, 105, 106, 108, 109].

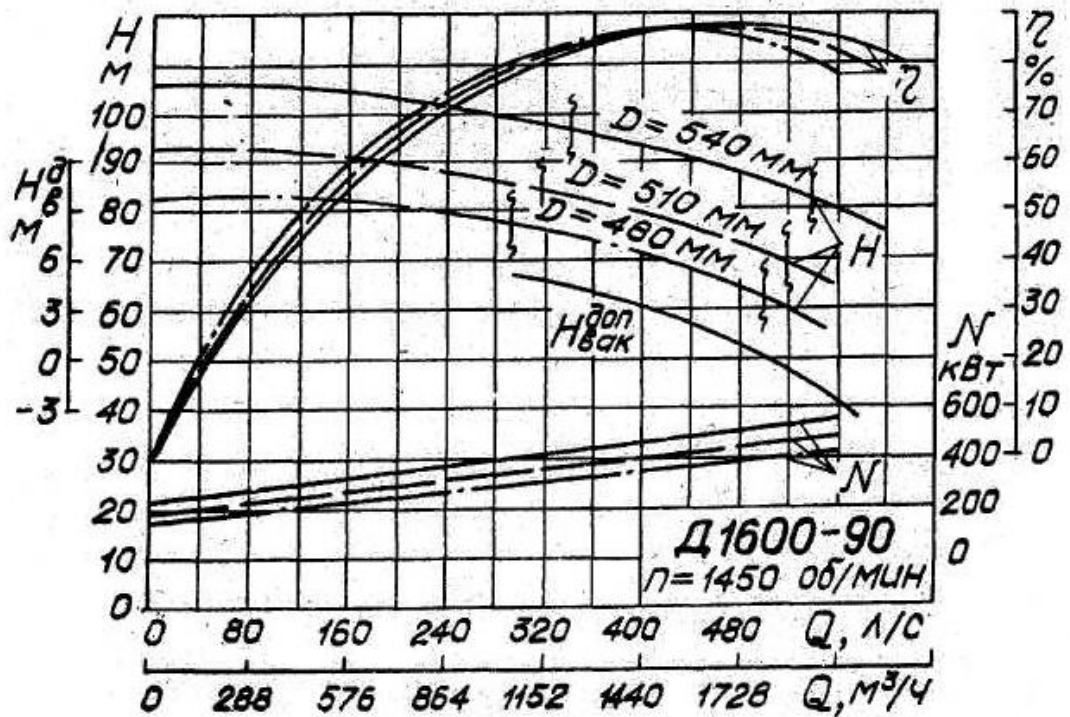


Рисунок 2.2 – Напорно-расходная характеристика центробежного насоса

Д1600-90 ($D_{p.k} = 540$ мм, $n = 1450$ мин⁻¹)

При анализе таблицы 2.1 установлено, что при напоре агрегата Д1600-90 отрицательное давление в сопле колеблется от -8,86 до -6,93 м. Величина вакуума значительная, определяет возможность подсоса сухого воздуха из всасывающей линии струйного аппарата, которая в большей степени врезана в камеру смешения, вследствие чего для окончательного определения возможности подсасывания в дальнейшем обуславливает давление в камере смешения в зависимости от коэффициента эжекции α_0 . Параметры струйного аппарата коэффициент эжекции α_0 , давление в камере смешения $p_0/g\rho_0$, объёмный расход воздуха W (м³/с) при напоре центробежного насоса Д1600-90 от 85 до 107 метров и подаче от 0,08 до 0,56 м³/с показаны в таблице 2.2.

Кроме того, таблица 2.2 отражает зависимость объёмного расхода подсосываемого воздуха W (0-1,30 м³/с) от подачи Q_0 (0,08-0,56 м³/с) и напора H (85,0-107,0 м) основного насоса (см. рисунок 2.2.) при указанных данных величина вакуума в сопле струйного аппарата колеблется в пределах (-8,86÷-6,93 м).

Таблица 2.1 – Зависимость отрицательного давления в сопле струйного аппарата от напора насоса нагнетателя Д1600-90

Подача Q_o , м ³ /ч / м ³ /с	Напор H , м	Скорость в сопле $V_o = \varphi \sqrt{2gH_n}$ ($\varphi=0,95$), м/с	Скоростной напор $\frac{V_o^2}{2g}$, м	Потери в сопле, м $h_{w_0} = \zeta_o \frac{V_o^2}{2g}$ ($\zeta_o=0,2$)	Давление потока перед выходом из сопла, м $\frac{p_o}{g\rho} = H - \frac{V_o^2}{2g} - \zeta_o \frac{V_o^2}{2g}$
288/0,08	107,0	43,52	96,55	19,31	-8,86
576/0,16	106,0	43,32	95,64	19,12	-8,76
864/0,24	100,0	42,07	90,20	18,04	-8,24
1152/0,32	98,0	41,65	88,41	17,68	-8,09
1440/0,40	94,0	40,79	84,81	16,96	-7,77
1728/0,48	88,0	39,47	79,41	15,88	-7,29
2016/0,56	85,0	38,77	76,61	15,32	-6,93

(При давлении потока перед входом из сопла аппарата от -8,86 до -6,93 м и скорости в сопле от 38,77 до 43,52 м/с)

Таблица 2.2 – Гидравлические параметры струйного аппарата в зависимости от коэффициента эжекции α_o при оптимальной по КПД геометрической характеристике $m = 2,00$ (отношение площади поперечного сечения камеры смешения к площади поперечного сечения сопла)

Подача Q_o , $\text{м}^3/\text{ч} / \text{м}^3/\text{с}$	Напор H , м	Величина вакуума в сопле, $\frac{p_o}{g\rho_o}$, м	Коэффициент эжекции α_o	Давление в камере смешения $p_o / g\rho_o / m$	Объёмный расход воз- духа, W , $\text{м}^3/\text{с}$
288/0,08	107,0	-8,86	0,0	-4,43	0,00
			1,0	-3,0	1,75
			2,0	-2,0	2,30
1152/0,32	98,0	-8,09	0,0	-4,0	0,00
			1,0	-2,8	1,50
			2,0	-1,7	1,90
2016/0,56	85,0	-6,93	0,0	-3,5	0,00
			1,0	-3,0	1,28
			2,0	-1,1	1,30

Анализ таблицы 2.2 показывает возможность транспортировки сухого воздуха из трубопровода при наличии отрицательного давления в камере смешения, в зависимости от коэффициента эжекции α_o в напорном трубопроводе, колеблющегося в пределах от 0 до 2. Аналогичный расчёт проводится для параметров других насосных агрегатов, без определения диаметров смесителя и скорости потока в камере смешения, по коэффициенту эжекции и оптимальной геометрической характеристике струйного аппарата $m_o = 2,0$, принимаемой по рекомендациям [96, 97, 98, 102].

Для данного конкретного расчёта транспортировка сухого воздуха, объёмная колеблется от 0,00 до 2,3 $\text{м}^3/\text{с}$ при напоре 107 метров, в зависимости от коэффициента эжекции от $\alpha_o = 0,0 \div 2,0$.

2.2 Теоретическое определение расхода подсасываемого потока в зависимости от напора в напорном распределительном трубопроводе

Совершенно очевидно, что расход подсасываемого потока зависит от величины вакуума как в корпусе струйного аппарата, так и в напорном трубопроводе, из которого откачивается сухой воздух, причём по мере увеличения разрежения в трубопроводе скорость и скоростной напор подсасываемого потока изменяются вследствие увеличения коэффициента гидравлического сопротивления движущегося потока воздуха. Но основным фактором, влияющим на расход сухого воздуха, является коэффициент эжекции α_o , в свою очередь находящийся во взаимозависимости от напора в распределительном напорном трубопроводе струйного аппарата.

В качестве допущений для расчёта принимается:

- мгновенное распространение вакуума в освобождённом трубопроводе (при расстоянии до 5000 м);
- отсутствие возможного жидкостного подпора с обратной стороны заполняемого трубопровода;
- нулевой уклон напорного трубопровода без дополнительного гидростатического давления;
- коэффициент эжекции (подсасывания сухого воздуха) принимается по зависимости [104, 105, 106, 109, 110, 111] $\alpha_o = \frac{G_e}{Q_o} = 1,0$, где G_e – весовой расход воздуха, Q_o – объёмная подача воды;
- величина вакуума в камере смешения струйного аппарата принимается по таблице 2.2 (среднее значение -4 м);
- отсутствие дополнительного давления (выше атмосферного) перед распределительным трубопроводом орошаемого участка в торце диффузора струйного аппарата;
- угол раскрытия диффузора θ - 6-10°;
- при расчёте струйного аппарата принималась геометрическая характеристика $m=2,0$ (см. таблицу 2.2) с длиной камеры смешения

$$L_{\text{ц}} = 2d_{\text{см}}; \quad (2.4)$$

- скорость V_c и скоростной напор $\frac{V_c^2}{2g}$ в камере смешения принимаются по скорости в сопле V_o , определённой по напору центробежного насоса и принятой величине α_o .

На основании рекомендаций раздела 2.1 и принятого в допущениях подсасываемого коэффициента эжекции $\alpha_o = 1,0$, объёмный расход сухого воздуха составляет $1,75 \text{ м}^3/\text{с}$ при отсутствии дополнительного давления в распределительном трубопроводе.

По мере увеличения давления (напора $\bar{H}_Г$, приведённого к оси струйного аппарата) коэффициент эжекции α_o , а следовательно, и подсасываемый расход, могут изменяться в сторону уменьшения [97, 108, 113] (рисунок 2.3). На рисунке 2.3 величины напора по вертикальной оси показаны относительные

$$\bar{H}_Г = \frac{H_{Г\text{пр}}}{V_o^2/2g}, \quad (2.5)$$

где $H_{Г\text{пр}}$ – приведённый к оси струйного аппарата напор в распределительном трубопроводе.

Зависимость относительного приведённого напора $\bar{H}_Г$ от коэффициента эжекции α_o показана в таблице 2.3 и на рисунке 2.3 [48, 54, 55, 97].

В данном расчётном случае для струйного аппарата принят возможный напор в напорном распределительном трубопроводе, колеблющийся от максимального 20 м до минимального 8 м. При этом подсасываемый расход воздуха изменяется соответственно от 0,0008 до 0,23 $\text{м}^3/\text{с}$. Полученный объёмный расход воздуха может быть выражен через массовый на основании уравнения Клайперона:

$$G_o = \frac{p_6 Q_1}{R_6 T_p}, \quad (2.6)$$

где Q_1 – объёмный расход подсасываемого воздуха;

Таблица 2.3 – Зависимость относительного приведённого напора $\bar{H}_Г$ от коэффициента эжекции α_o при изменённых величинах напора $H_{Г\text{пр}}$

Насос Д1600-90		Скорость, м/с V_o	Скоростной напор, м $\frac{V_o^2}{2g}$	Напор в трубопроводе		Коэффициент эжекции $\alpha_o = \frac{W_1}{Q_o}$	Подсасываемый расход воздуха, м ³ /с $W_1 = \alpha_o \cdot Q_o$
подача, м ³ /с	напор, м			фактический, м	относительный, м		
0,08	107,0	43,52	96,55	20,0	0,20	0,01	0,0008
0,16	106,0	43,32	95,64	18,0	0,18	0,40	0,064
0,24	100,0	42,07	90,20	16,0	0,17	0,80	0,19
0,32	98,0	41,65	88,41	14,0	0,16	1,00	0,32
0,40	94,0	40,79	84,81	12,0	0,14	1,24	0,49
0,48	88,	39,47	79,41	10,0	0,13	1,38	0,66
0,56	80,0	38,77	76,61	8,0	0,05	1,58	0,23

(Величина $H_{Г\text{пр}}$ – напор струйного аппарата в сечении после диффузора; величина $\bar{H}_Г$ – отношение $H_{Г\text{пр}}$ к скоростному напору $\frac{V_o^2}{2g}$ в сопле струйного аппарата)

$p_v = p_n - p_{\pi}$ (p_n – давление сухого воздуха в приёмной камере; p_{π} – давление насыщенного пара при температуре рабочей воды).

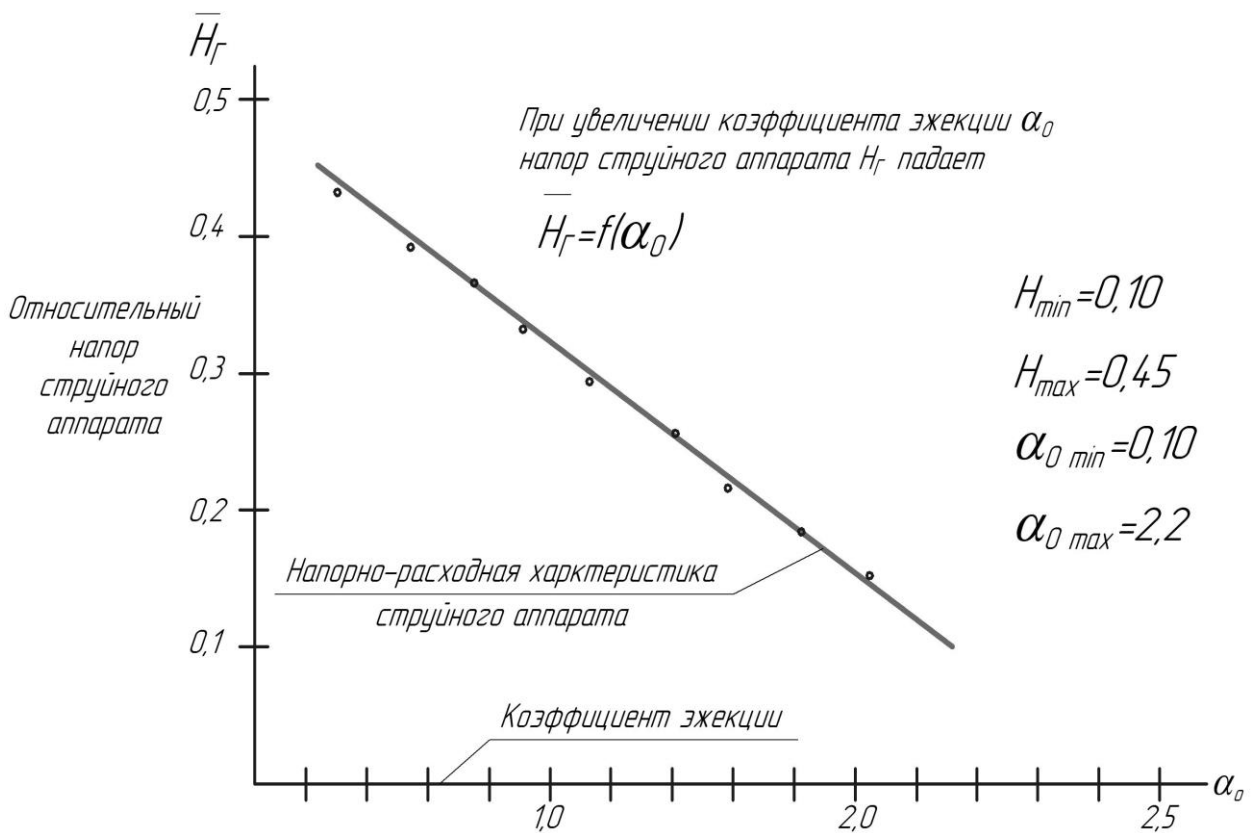


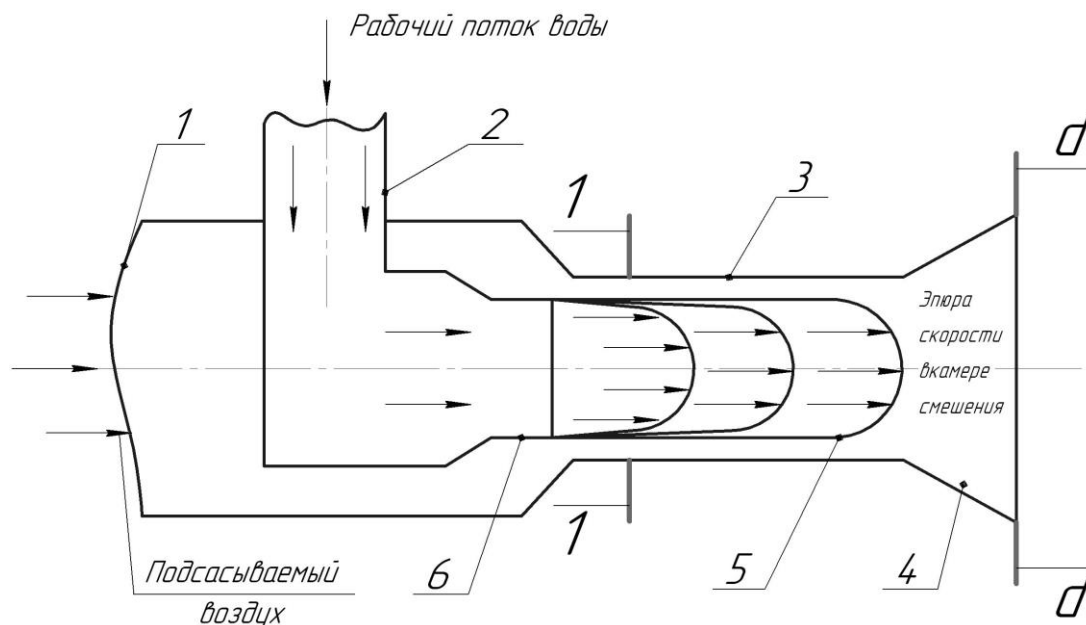
Рисунок 2.3 – Зависимость относительного напора в распределительном трубопроводе $\bar{H}_r$ от коэффициента эжекции струйного аппарата α_0

2.3 Обоснование изменения величин коэффициентов гидравлических сопротивлений элементов водовоздушного струйного аппарата

Данное теоретическое обоснование предварительное и при дальнейших экспериментальных исследованиях подтверждается и сопоставляется с опытными данными (см. раздел 3, таблица 2.4).

К основным элементам струйного аппарата, оказывающим наибольшее влияние на энергетические параметры, относятся коэффициенты гидравлического сопротивления сопла ζ_0 , камеры смешения ζ_c , диффузора ζ_d . В современной литературе [99, 103] обоснования принятых коэффициентов для во-

довоздушных аппаратов практически отсутствуют, приведённые коэффициенты относятся к аппаратам с центральным подводом рабочей струи, вытянутой эпюрой скорости в камере смешения, в связи с чем увеличенной длиной (до шести диаметров) (рисунок 2.4).



- 1 - приёмный воздушный трубопровод; 2 - трубопровод рабочего потока;
3 - удлинённая камера смешения; 4 - диффузор; 5 - вытянутая эпюра скорости; 6 - сопло

Рисунок 2.4 – Струйный аппарат с вытянутой эпюрой скорости
и удлинённой камерой смешения

Выход рабочей кольцевой двухповерхностной рабочей [37] струи в воздушный подсасываемый поток при нулевом подпоре со стороны напорного распределительного трубопровода не меняет величину коэффициента гидравлического сопротивления сопла при выходе потока в атмосферу, и для выпуклой эпюры скорости в камере смешения значение ζ_0 принимается $0,1 \div 0,15$ [13, 16, 17, 18, 19, 20, 49, 56], для чисел Рейнольдса от $4 \cdot 10^4$ до $18 \cdot 10^5$.

Значение коэффициента гидравлического сопротивления цилиндрической части камеры смешения ζ_c для водовоздушного потока в первом приближении принимается, по рекомендациям [52, 53, 57, 60, 61, 62, 63, 66], при определении значения λ для цилиндрически гладких трубопроводов по зависимости:

$$h_{w.c} = \lambda_c \frac{L_c}{D_c} \frac{V_c^2}{2g}. \quad (2.7)$$

Откуда

$$\lambda_c = \frac{h_{w.c} \cdot D_c \cdot 2g}{L_c \cdot V_c^2}. \quad (2.8)$$

Величина λ_c приравнивается к коэффициенту гидравлического сопротивления ζ_c , и для коротких значений L_c кольцевых двухповерхностных струйных аппаратов значение ζ_c используется в зависимостях при определении местных потерь напора [62, 65, 73].

$$h_{w.c} = \zeta_c \frac{V_c^2}{2g}, \quad (2.9)$$

при увеличенных длинах камеры смещения для струйных аппаратов с центральной струей коэффициент λ_c используется в зависимости (2.7).

Основными потерями как в жидкостно-жидкостных аппаратах, так и в водовоздушных являются потери в диффузорах, которые в литературных источниках считаются местными с коэффициентом местных потерь ζ_d .

Потери в диффузорах [75, 77, 78, 79, 98], определяются по нижеприведённой зависимости:

$$h_{w.d} = \zeta_d \frac{V_{p.тр}^2}{2g}, \quad (2.10)$$

где $V_{p.тр}^2$ – скорость водовоздушного потока в распределительном трубопроводе, определяемая в зависимости (2.10) по диаметру и значения V_o – скорости потока, выходящего из сопла. Величина $V_{p.тр}$ в напорном распределительном трубопроводе изменяется вследствие изменения диаметра при неизменном расходе. Используя уравнение (2.10), коэффициент ζ_d равен:

$$\zeta_d = \frac{2g \cdot h_{w.d}}{V_{p.тр}^2} \quad (2.11)$$

При сравнении полных энергий в сечениях 1–1 и d–d (см. рисунок 2.4) коэффициент ζ_d определяется по зависимости:

$$\zeta_d = \frac{\frac{p_1}{g\rho_o} + \frac{\alpha_K V_1^2}{2g} - \left(\frac{p_d}{g\rho_o} + \frac{V_d^2}{2g} \right)}{V_{p.тр}^2 / 2g}. \quad (2.12)$$

где $\left(\frac{p_1}{g\rho_o} + \frac{\alpha_K V_1^2}{2g} \right)$ – полная энергия при входе в диффузор, м;

$\left(\frac{p_d}{g\rho_o} + \frac{V_d^2}{2g} \right)$ – полная энергия при выходе из диффузора, м;

α_K – коэффициент Кориолиса $\approx 1,0$.

В современной литературе [80, 103] для аппаратов с центральным подводом коэффициент ζ_d принимается от 0,3 и выше до 0,5, для кольцевых двухповерхностных – 0,2–0,25 [80, 92, 96, 111]. При расчёте величины ζ_o значительную роль в вычислении скорости в сопле V_o играют кавитационные характеристики сопла. Как указывалось выше, величина V_o определяется по зависимости $V_o = \varphi \sqrt{2gH_n}$ (H_n – напор рабочего потока), бесконечное увеличение которого приводит в первой стадии до величины вакуума – 9,5 м, при дальнейшем увеличении H значения скорости V_o и вакуума – 9,5 м остаются неизменными вследствие наличия кавитационных явлений как в сопле, так и в камере смешения. На рисунке 2.5 [101] показаны срывные значения относительного напора кольцевого аппарата $\bar{H}_r$ при коэффициентах эжекции 1,25; 1,4; 1,5 для величины $\bar{H}_r$ соответственно 0,17; 0,16 и 0,15.

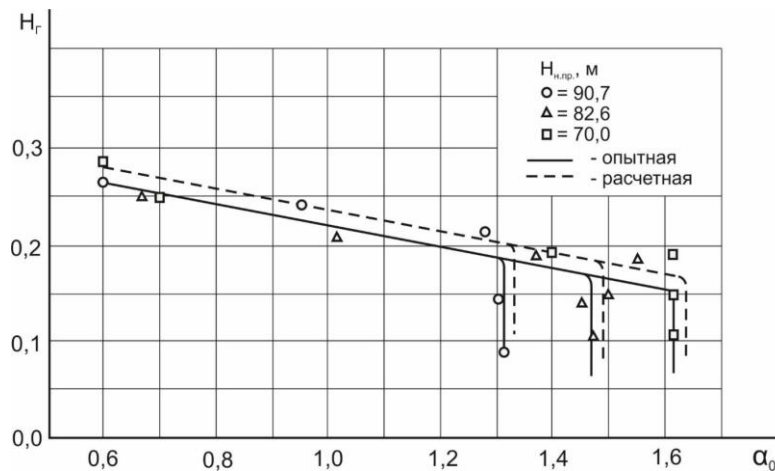


Рисунок 2.5 – Кавитационные характеристики кольцевого струйного аппарата для напора H перед соплом 90,7; 82,6; 70,0

На основании вышеизложенного для расчёта максимального значения напора перед соплом необходимо по вышеуказанному примеру построить кавитационную характеристику с принятием коэффициента эжекции по зависимости (2.6).

2.4 Рекомендации по расчёту относительных геометрических размеров и гидравлических параметров струйного аппарата

К геометрическим размерам струйного аппарата относятся: (см. рисунок 2.1)

– характеристика m (отношение площади поперечного сечения камеры смешения ω_c к площади сечения сопла ω_o);

– диаметр наружного сопла d'_o ;

– диаметр внутреннего сопла d''_o ;

– диаметр камеры смешения D_u ;

– ширина щели $b = d'_o - \frac{d''_o}{2}$;

– длина камеры смешения $L_{ц}$;

– угол раскрытия диффузора θ ;

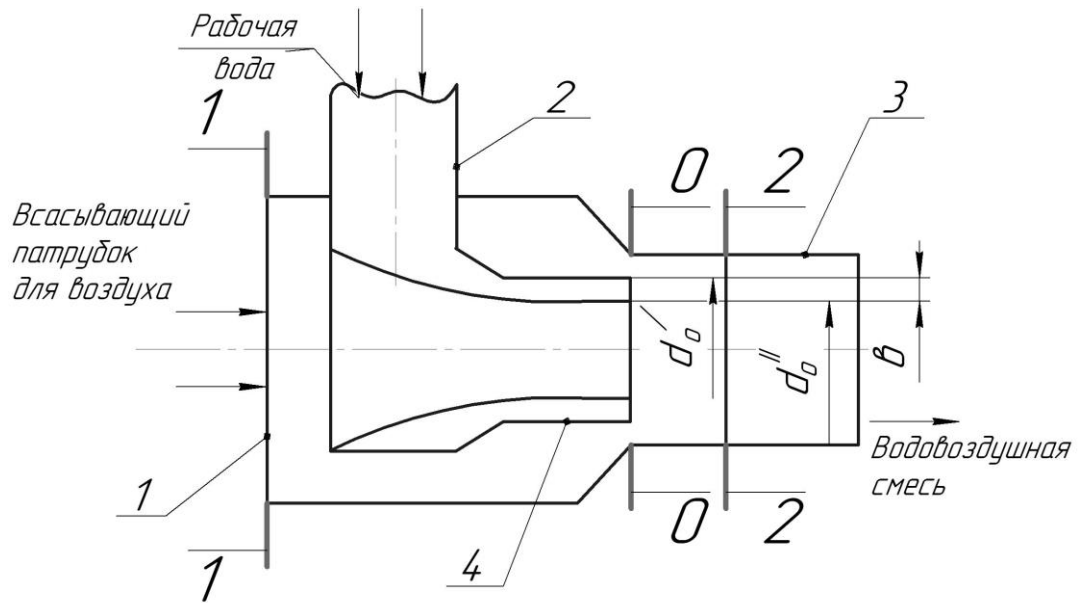
– длина диффузора L_d ;

– диаметр всасывающего трубопровода $D_{вс.тр}$;

– диаметр трубопровода рабочего потока $D_{р.п.}$.

Анализ литературных источников [84, 86, 88, 92] показал возможность определения некоторых оптимальных параметров для аппаратов с центральной рабочей струей (см. рисунки 2.1, 2.4).

При назначении относительной характеристики m исходят из необходимости использования аппаратов в промышленности или сельском хозяйстве и возможности эксплуатации с максимальным КПД; для водоподъёма величина m назначается в области $2 \div 2,5$, гидромеханизации – $5 \div 6$, в смесительных устройствах – $6 \div 8$. В жидкостно-газовых аппаратах для создания вакуума во входной камере (сечение 1–1, рисунок 2.6)



1 – входной патрубок; 2 – вход рабочего потока; 3 – камера смешения ω_c ;
4 – кольцевое сопло ω_o

Рисунок 2.6 – Схема ввода рабочего потока в камеру смешения
в струйном аппарате

В рассматриваемом случае, когда аппарат используется для создания максимальной величины отрицательного давления в камере смешения (сечение 2–2) и входной камере (сечение 1–1), величину m необходимо уменьшить до минимального значения $1 \div 1,5$ и создания скорости в камере смешения V_c и скоростного напора $\frac{V_c^2}{2}$ максимально приближённой к скорости и скоростному напору в сопле V_o и $\frac{V_o^2}{2g}$. Расчёт энергий, как потенциальной (вакуума), так и кинетической, приведены в разделе 2 (см. рисунок 2.1). Диаметры сопел d'_o и d''_o принимаются – внутренний наружного сопла и наружный внутреннего сопла, при этом ширина щели «в» принимается как разница $d'_o - d''_o$.

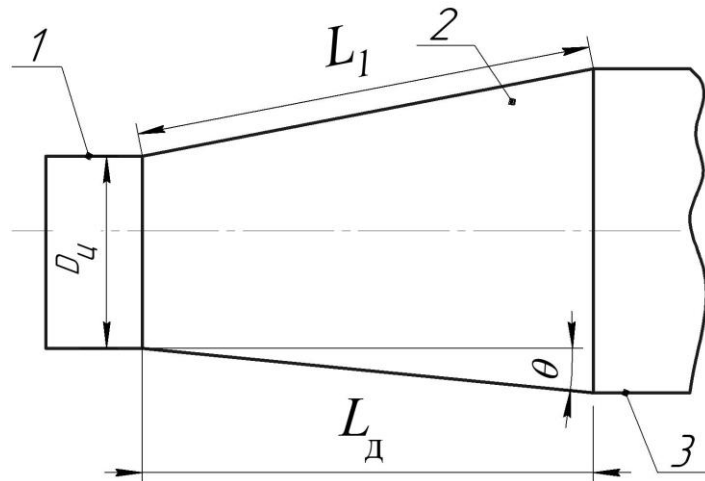
Диаметры сопел наружного d'_o и внутреннего d''_o вычисляются, исходя из увеличения проходных размеров для подсасываемых и рабочих потоков, увеличения (уменьшения) рабочего расхода.

Диаметр кольцевого сопла d'_o , как правило, принимается $0,9 D_{\text{ц}}$ (см. рисунок 2.1), внутренний диаметр d''_o назначается исходя из принятой ширины щели δ , по которой рассчитывается рабочий расход

$$Q_o = V_o 0,785 (d_o'^2 - d_o''^2). \quad (2.13)$$

Длина диффузора принимается из условия возможности принятия минимального коэффициента гидравлического сопротивления $\zeta_{\text{д}} = 0,20-0,25$ при угле конусности $4-6^\circ$.

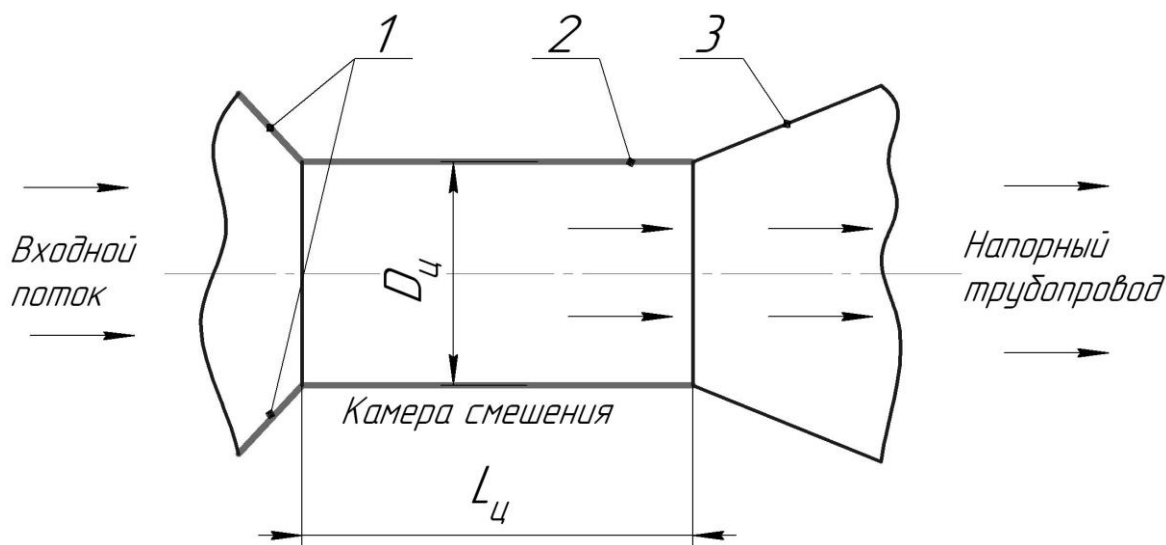
$$L_{\text{д}} = L_1 \cdot \operatorname{tg} \theta. \quad (2.14)$$



1 – камера смешения; 2 – диффузор; 3 – напорный трубопровод

Рисунок 2.7 – Схема для определения длины диффузора струйного двухповерхностного кольцевого аппарата

Длина камеры смешения $L_{\text{ц}}$ назначается из условия $2-2,5 D_{\text{ц}}$ для двухповерхностных аппаратов и $5-6,5 D_{\text{ц}}$ – для аппаратов с центральной струей (рисунок 2.8). Диаметр напорного трубопровода (см. рисунок 2.7) принимается исходя из оптимальной скорости потока в напорных трубопроводах $2 \div 2,5$ м/с [49, 79, 80, 81, 92, 114]. Диаметр камеры смешения $D_{\text{ц}}$ определяется из условия наличия необходимой скорости потока способствующей увеличению кинетической энергии и соответственно уменьшению потенциальной до значения отрицательных величин способствующих подсасыванию перекачиваемых потоков во всасывающем трубопроводе.



1 – конфузор; 2 – камера смешения; 3 – диффузор

Рисунок 2.8 – Схема для определения длины камеры смешения аппаратов с центральной струей

Диаметры всасывающих и напорных трубопроводов рассчитываются исходя из допустимой скорости 2–2,5 м/с [14, 55, 74, 75, 80, 82, 90].

При определении гидравлических параметров кольцевого струйного аппарата рассчитывается

$$\text{- коэффициент эжекции } \alpha_o = \frac{G_1}{Q_o}, \quad (2.15)$$

где G_1 – весовой расход подсасываемого воздуха;

Q_o – объёмный расход рабочего потока.

Величина G_o назначается исходя из необходимости создания максимально возможной скорости потока в сопле, G_1 рассчитывается исходя из назначенного коэффициента эжекции α_o .

Напор рабочего потока H_n назначается из необходимости создания максимальной величины вакуума в сопле с учётом кавитационного запаса в камере смешения.

Скорости потоков в трубопроводах назначаются исходя из рекомендаций литературных источников [62, 75, 82, 90]. Оптимальная скорость потока при минимальных потерях назначается для всасывающих 1÷1,5 м/с, напорных 2÷2,5 м/с.

2.5 Методика расчёта и расчёт оптимальных гидравлических параметров и геометрических размеров системы удаления воздуха из напорного трубопровода водовоздушным струйным аппаратом

2.5.1 Порядок расчёта

К основным параметрам расчёта водовоздушного струйного аппарата относятся:

Q_n – объёмный расход смеси,

p_c – давление сжатия на выходе из аппарата,

m – оптимальная геометрическая характеристика,

α_o – коэффициент эжекции,

Q_o – объёмный расход рабочего потока,

V_o – скорость потока в сопле,

H_n – напор рабочего потока.

По рассчитанным параметрам с использованием рекомендаций раздела 2.4 (исходные данные, таблица 2.4) разрабатывается методика расчёта.

По рассчитанным параметрам с учётом рекомендаций раздела 2.4 рассчитываются оптимальные гидравлические параметры и относительные геометрические размеры системы удаления воздуха из напорных трубопроводов водовоздушным струйным аппаратом.

Таблица 2.4 – Исходные данные для расчёта оптимальных гидравлических параметров и геометрических размеров системы удаления воздуха струйным аппаратом

Показатель	Обозначение	Численные величины	Ссылка на источник
1	2	3	4
1. Принятый центробежный насос	Д1600-90	Напорно-расходная характеристика	Раздел 2.1 рисунок 2.2
2. Весовой коэффициент эжекции	α_o	1,0 (предварительно принимается)	Раздел 2.2 (допущения)

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4
3. Величина вакуума в смесителе	H_c	-4,0 м	Раздел 2.2 (допущения)
4. Коэффициенты гидравлических сопротивлений приняты по литературным данным и результатам собственных исследований (раздел 3)			
Сопло струйного аппарата	ζ_o	0,10–0,12	[100]
Диффузор	ζ_d	0,25	[102]
Камера смешения	ζ_c	0,06	[98]
Вход в аппарат	$\zeta_{вх}$	0,10	[102]
Коэффициент сопротивления по длине трубопровода	λ	0,033	(раздел 3, таблица 3.1)
5. Длина и диаметр напорного трубопровода	L_H / D_H	1000 м / 1200 мм	Принятые для примера
6. Напор и подача центробежного насоса	H_1 / Q_o	85-110 м / 0,08-0,56 м³/с	таблица 2.1
7. Геометрическая характеристика	m	2,0	Раздел 2.2 (допущения)
8. Длина камеры смешения	L_c	$2D_c$ D_c – диаметр камеры смешения	[117, 118]
9. Угол раскрытия диффузора	θ	6-10°	[85, 90]
10. Скорость потока в напорном трубопроводе при заполнении	V_T	2,-2,5 м/с	[90]

Продолжение таблицы 2.4

1	2	3	4
11 Средняя плотность смеси	$\rho_{см}$	$\approx 500 \text{ кг/м}^3$	Принимается
12. Давление в резервуаре	$p_o / 9\rho_o$	атмосферное 10,33 м	Принимается

Расчёт приведен в таблице 2.5

Таблица 2.5 – Методика расчёта и расчет оптимальных геометрических размеров и гидравлических параметров системы удаления воздуха из напорных трубопроводов водовоздушным струйным аппаратом (с учётом рекомендаций раздела 2.1, таблица 2.1, 2.2)

Наименование параметра	Ед. изм.	Формула или обозначение	Количество, ссылка
1	2	3	4
Гидравлические параметры			
1. Объёмный расход смеси	м ³ /с	$Q_g = \alpha_o \cdot Q_o$ $Q_o = 0,32 \text{ м}^3/\text{с} \quad \alpha_o = 1,0$	таблица 2.4 0,32 м ³ /с
2. Массовый расход смеси	кг/с	$G_n = Q_g \cdot \rho_{см} =$ $= 0,32 \cdot 0,5 = 160,0$	160,0
3. Объёмный расход воздуха	м ³ /с	$Q_1 = 2,87 \cdot 10^{-4} G_n \cdot \frac{T_p}{p_n - p_{н.п}}$	таблица 2.2
4. Давление сжатия потока на выходе	кг/см ²	$p_c = p - 9,8 \cdot 10^{-6} \cdot h$	10,0
5. Напор насоса для расхода Q_o , $H_{ц}$	м	Принимается по таблице 2.1	98,0
6. Скорость потока Q_o в сопле	м/с	$V_o = \varphi \sqrt{2gH_{ц}}$	35,08

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4
7. Скоростной напор в сопле $V_o^2/2g$	м	$V_o^2/2g = \frac{35,08^2}{19,62}$	62,72
8. Величина вакуума в камере смешения при напоре насоса $H = 98$ м	м	$\frac{p_o}{g\rho_o}$	-4,0 таблица 2.2
9. Критическая скорость в сопле	м/с	$V_{кр} = 8\sqrt[3]{D^6 \sqrt{C_o \Psi}} =$ $= 8\sqrt[3]{0,15^6 \sqrt{12,5 \cdot 0,2}}$	[23, 24, 25] 1,15
10. Критический коэффициент (при $R = 1,17$)	б/р	$\alpha_{кр} = \frac{\rho_1 m}{V_o \rho R} \sqrt{\left(\frac{p_a - p_m}{\rho_1} \frac{H_3}{\rho_1} - \frac{h w_1}{\rho_1} \right) 2g}$	8,55
11. Весовой расход смеси в напорном трубопроводе	кг/с	G_n (п.2 таблица 2.5)	160
Геометрические размеры			
12. Площадь выходного отверстия сопла ω_o	м ²	$\omega_o = \frac{Q_o}{V_o} = \frac{0,32}{35,08}$	0,0091
13. Диаметр камеры смешения $D_{ц}$	мм	Из расчёта $m = \frac{D_w^2}{(d_o'^2 - d_o''^2)}$ $D_{ц} = \sqrt{m(d_o'^2 - d_o''^2)}$	112,6
14. Длина камеры смешения $L_{ц}$	мм	$L_{ц} = 2 D_{ц}$	(см. рисунок 2.1) 215,2
15. Наружный диаметр кольцевого сопла d_o'	мм	$d_o' = 0,9 D_{ц} = 112,6 \cdot 0,9$	101,34
16. Расстояние между обрезом сопла и камерой смешения Z	мм	$Z = 2 d_o' = 2$	202,68 (см. рисунок 2.1)

Продолжение таблицы 2.5

1	2	3	4
17. Внутренний диаметр кольцевого сопла d_o''	мм	Из расчёта $\omega_o = 0,785(d_o'^2 - d_o''^2)$	96,10
18. Выходной $D_{\text{вых}}$ (входной $D_{\text{вх}}$) диаметр диффузора	мм	$D_{\text{вых}} = D_y \cdot \operatorname{tg} 8^\circ$ $D_{\text{вх}} = D_{\text{ц}} = 112,6$	368 (112)
19. Диаметр выходного $D_{\text{тр.вых}}$ (входного $D_{\text{тр.вх}}$) трубопроводов	мм	$D_{\text{тр.вых}} = D_y \cdot \operatorname{tg} 8^\circ$ $D_{\text{вх}} = D_{\text{ц}} = 112,6$	368 (112)
20. Скорость заполнения напорного трубопровода $V_{\text{н.тр}}$ при пуске насосной станции первого подъёма	м/с	$V_{\text{н.тр}} = \frac{Q_o}{0,785 D_n} =$ $= \frac{0,36}{0,785 \cdot 1,2^2}$	0,31
21. Время заполнения напорного трубопровода t , $D_{\text{н.тр}} = 1200$ мм	с	$t = \frac{L_{\text{н.тр}} \cdot t}{V_{\text{н.тр}}} = \frac{1000 \cdot 1}{0,31}$	3225 (0,84 ч)
22. Заполняемый объём напорного трубопровода $W_{\text{н.тр}}$ с $D_{\text{н.тр}} = 1200$ мм	м ³	$W_{\text{н.тр}} = 0,785 \cdot 1,2^2 \cdot 1000$	1130,4

На основании приведённой методики расчёта определены необходимые гидравлические параметры и геометрические размеры системы удаления воздуха и наполнения напорного трубопровода с помощью кольцевого двухповерхностного струйного аппарата. При наличии приведённых параметров струйного аппарата и расчётных зависимостей имеется возможность проводить расчёты всей системы удаления воздуха из заполняемых трубопроводов без использования дополнительных клапанов сброса воздуха как проектным организациям, так и эксплуатируемым предприятиям. Расчётные величины,

показанные в таблице 2.5 отражают значения параметров приведённых в разделе 3 установленных при проведении экспериментальных исследований.

Выводы по главе

По результатам предложенной теоретической методики расчёта предлагается порядок вычисления основных гидравлических параметров и геометрических размеров системы удаления воздуха из напорных трубопроводов при их первоначальном заполнении.

1. По исходным данным, принятым параметрам центробежного насоса Д1600-90, весовому коэффициенту эжекции струйного аппарата $\alpha_o = 1,0$, величине вакуума в смесителе $H_c = -4$ м, коэффициентам гидравлических сопротивлений струйного аппарата – сопла $\zeta_o = 0,1-0,12$, диффузора $\zeta_d = 0,25$, камеры смешения $\zeta_c = 0, 3$, входа в струйный аппарат $\zeta_e = 0,10$, геометрической характеристике $m = 2,0$ определены все гидравлические параметры и геометрические размеры системы удаления воздуха при наполнении напорного трубопровода, по которым получена возможность для разработки проектно-сметной документации.

2. По приведённым зависимостям видно, что основным параметром для назначения размеров системы является весовой коэффициент эжекции струйного аппарата α_o , определяющий зависимость между рабочим расходом водяной струи и подсасываемым весовым расходом воздуха для создания условий создания вакуума в трубопроводе.

3. Расчётом установлено время наполнения напорного трубопровода длиной 3500 м и диаметром 1200 мм 1,29 часа без использования клапанов выпуска воздуха – вантузов и дополнительных затрат на монтаж и оборудования специальных площадей для необходимого постоянного обслуживания контрольно-измерительного оборудования.

3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в натурных условиях на насосной станции поверхностного водозабора из реки Кубань, построенного по типовому проекту 4-18-750. Насосная станция расположена на левом берегу р. Кубань на 25,35 км судового хода в районе «Заячье колено» (рисунки 3.1, 3.2).



Рисунок 3.1 – Насосная станция первого подъёма с водозабором из р. Кубань Темрюкского района Краснодарского края. Общий вид

Вода из реки Кубань по двум ниткам магистральных водоводов (год ввода в эксплуатацию 1980 и 2007), с внутренней цементно-песчаной изоляцией (ЦПИ), позволяющей снизить количество растворённых окислов железа в транспортированной питьевой воде и увеличивающей сроки службы ремонтируемых трубопроводов, подаётся насосными агрегатами марки Wilo SCP-2000/90 (1 шт), Д-1600/90 (3 шт) для целей орошения и водоснабжения 23 населённых пунктов. Схема установки оборудования (клапанов сброса воздуха-вантузов) и контрольно-измерительных приборов по первой нитке магистрального водовода показана на рисунке 3.3 (отметки поверхности трубопровода привязаны к отметке оси насоса).



Рисунок 3.2 – Внутренний вид насосной станции с насосным агрегатом Д 1600-90. Общий вид

Основные насосные агрегаты показаны с выходом напорных трубопроводов через задвижки в напорный коллектор с установленным обратным клапаном для устранения обратного тока при выключении агрегата. На рисунке видно, что каждый всасывающий трубопровод оборудован задвижкой с электроприводом способствующей, в случае необходимости, изменять подачу и напор соответствующего агрегата. Насосная станция заглубленного типа, что означает существенные гидрологические колебания водоисточника.

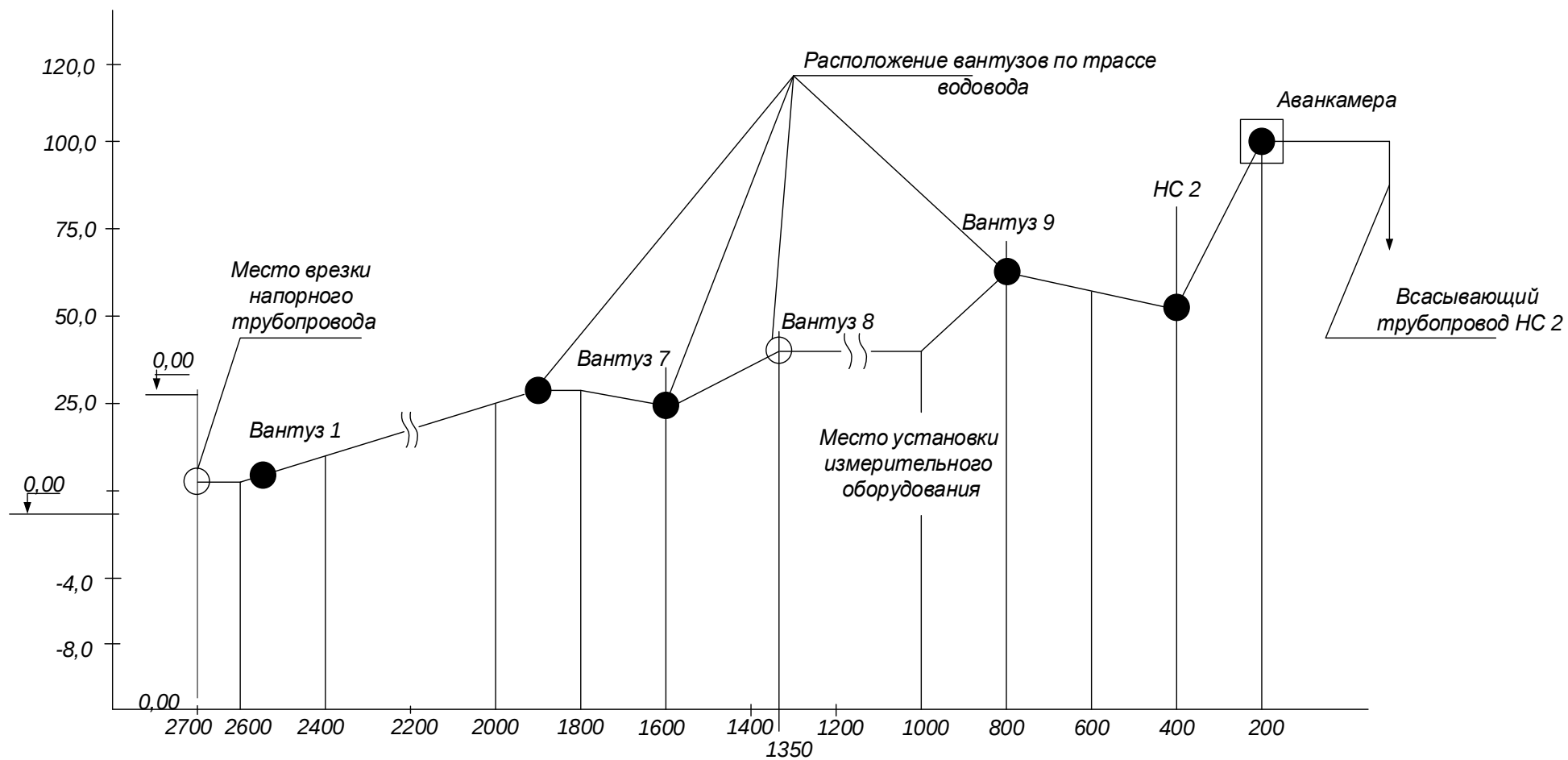
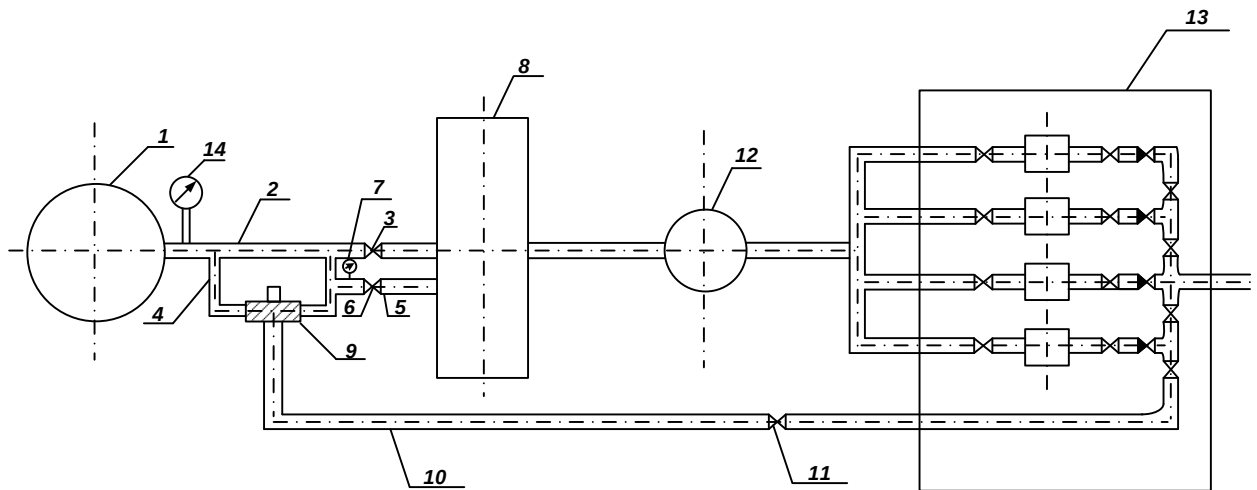


Рисунок 3.3 – Продольный профиль напорного трубопровода с местонахождением установленного оборудования

По всей трассе напорного трубопровода, установка измерительного оборудования, как манометра, так и вакууметра произведена, предварительно в одном месте на расстоянии 1350 м от места установки струйного аппарата.

Предлагаемый технологический процесс удаления воздуха из напорного трубопровода перед первым пуском насосной станции или повторного в случае производства ремонтных работ заключается в возможности удаления воздуха струйным аппаратом, установленным в концевом сечении напорного трубопровода без использования клапанов сброса воздуха – вантузов, смонтированных по трассе трубопровода (рисунок 3.4).



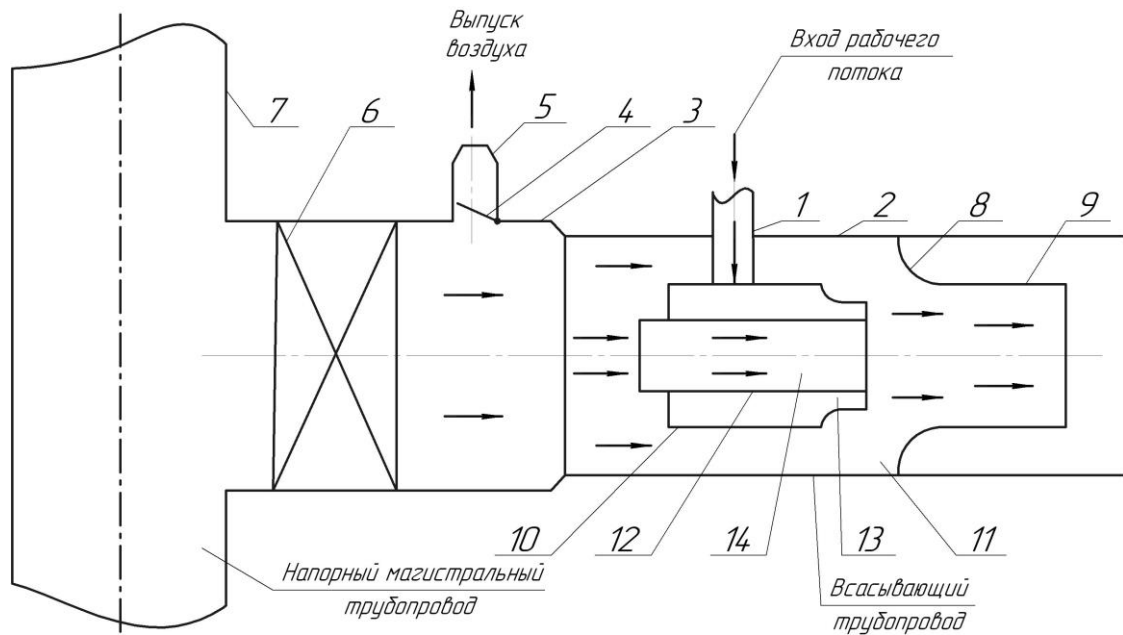
- 1 – насосная станция первого подъема; 2 – трубопровод напорный; 3 – клапан обратный;
 4 – трубопровод обводной; 5 – выпускная линия; 6, 11 – запорная арматура;
 7 – измерительная аппаратура; 8 – накопитель; 9 – аппарат струйный;
 10 – рециркуляционная линия; 12 – резервуар; 13 – насосная станция второго подъема;
 14 – вакуумметр

Рисунок 3.4 – Схема удаления воздуха из напорного трубопровода насосной станции 1-го подъема

Схема включает в себя насосную станцию первого подъема 1, напорный трубопровод 2 с обратным клапаном 3, обводной трубопровод 4, линию выпуска воздуха 5 с задвижкой 6 и манометром 7, накопитель 8, струйный аппарат 9, трубопровод линии рециркуляции 10, задвижку 11, резервуар 12, насосную станцию второго подъема 13. Система работает следующим образом: при первичном заполнении трубопровода 2 запускается насосная станция первого подъема для подачи воды в отстойник 8, открывается задвижка 11 трубопровода линии рециркуляции 10 насосной станции второго подъема 13, питаемой из резервуара 12, открывается задвижка 6 линии выпуска воздуха 5 и включается в работу струйный аппарат 9 для создания вакуума в трубопроводе.

воде 2, способствующий закрытию обратного клапана 3 и заполняемого трубопровода 2. Факт заполнения трубопровода 2 и увеличения давления струйного аппарата 9 отражает манометр 7. При достижении в системе определённого давления закрывается задвижка 11 линии рециркуляции 10. Вследствие увеличенного напора в трубопроводе 2 открывается обратный клапан 3, и система работает в оптимальном режиме. Струйный аппарат (рисунки 3.5, 3.6) для удаления воздуха из напорного трубопровода состоит из рабочего трубопровода 1, врезного в стакан 2, задняя часть которого соединена со всасывающим патрубком насоса 3 с обратным клапаном 4 и наконечником 5 через задвижку 6 с напорным трубопроводом 7, а передняя часть соединена конфузуром 8 с напорным трубопроводом струйного аппарата 9 с образованием с наружным соплом 10 внешнего вакуумного пространства 11 с внутренним соплом 12 кольцевой напорной щели 13 и внутреннего вакуумного пространства 14.

Работает аппарат следующим образом: вода под напором по трубопроводу 1 при открытой задвижке 6 подаётся через кольцевую напорную щель 13 между наружным соплом 10 и внутренним соплом 12 через конфузор 8 в напорный трубопровод струйного насоса 9 с большой скоростью, создавая при этом глубокий вакуум во внешнем 11 и внутреннем 14 вакуумных пространствах, передаваемых в стакан 2, всасывающий патрубок насоса 3 и напорный трубопровод 7, способствуя закрытию обратного клапана 4, отсосу воздуха и беспрепятственному наполнению напорного трубопровода 7. При полностью заполненном трубопроводе 7 и созданном в нём давлении клапан 4 открывается и начинается движение водного потока, указывающего на факт полного заполнения напорного трубопровода 7. Задвижка 6 закрывается, подача воды в рабочий трубопровод прекращается. В дальнейшей эксплуатации струйного аппарата, при первичном заполнении трубопровода нет необходимости, и насосная станция первого подъёма эксплуатируется до момента необходимости опорожнения трубопровода (при ремонтных работах и опорожнении на зимний период).



1 – трубопровод рабочий; 2 – стакан; 3 – патрубок всасывающий; 4 – клапан обратный; 5 – наконечник; 6 – задвижка; 7 – трубопровод напорный; 8 – конфузор; 9 – аппарат струйный; 10 – сопло наружное; 11 – пространство вакуумное внешнее; 12 – сопло внутреннее; 13 – щель кольцевая; 14 – пространство вакуумное внутреннее

Рисунок 3.5 – Технологическая схема установки струйного аппарата для удаления воздуха из напорных трубопроводов

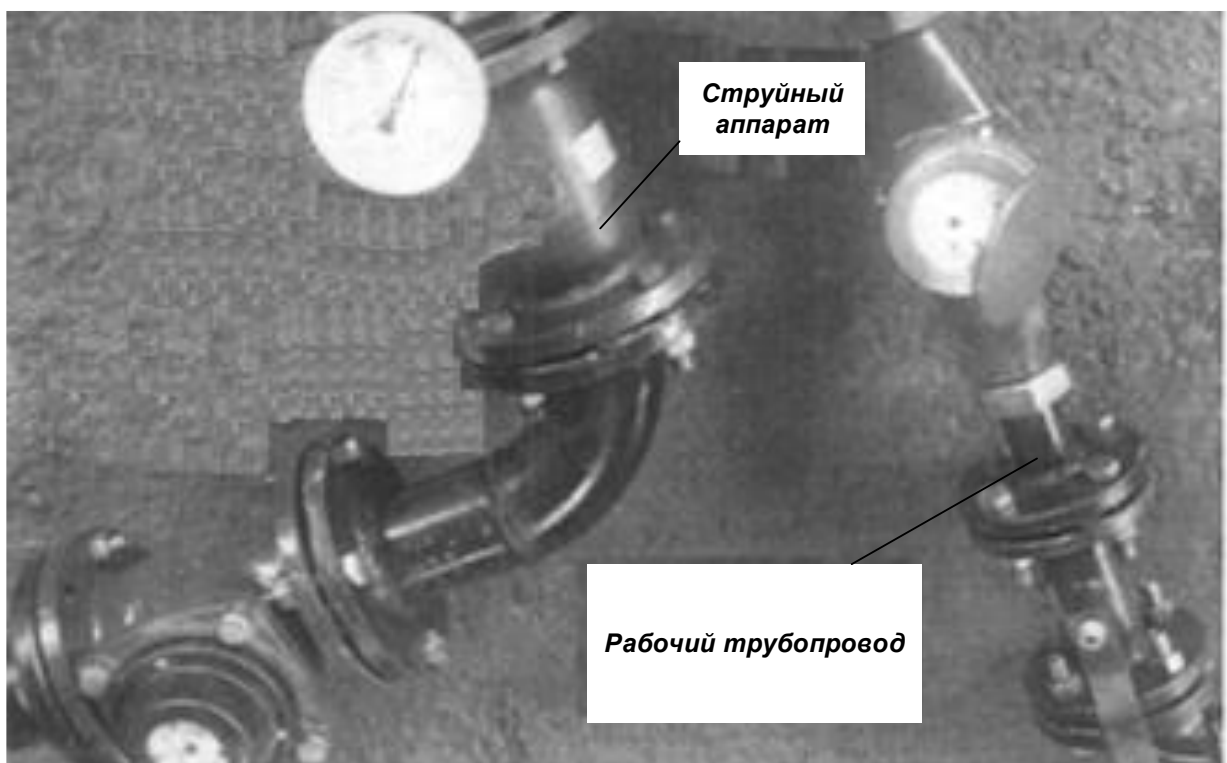


Рисунок 3.6 – Установка струйного аппарата в напорном трубопроводе.

Общий вид

В задачи исследований вышеуказанного оборудования входило:

- 1) опытное определение фактических гидравлических параметров струйного аппарата для конкретных эксплуатационных напорно-расходных характеристик в рассматриваемой схеме;
- 2) вывод эмпирической зависимости напора рабочего потока струйного аппарата от напора центробежного насоса, заполняющего трубопровод;
- 3) разработка вариантов определения коэффициента гидравлического сопротивления напорного трубопровода при транспортировке водовоздушной смеси.

3.1 Методика проведения исследований

При проведении исследований на насосных станциях первого и второго подъёма использовались центробежные насосы Д1600-90 (рисунок 3.7) с напорно-расходной характеристикой (см. рисунок 2.2).

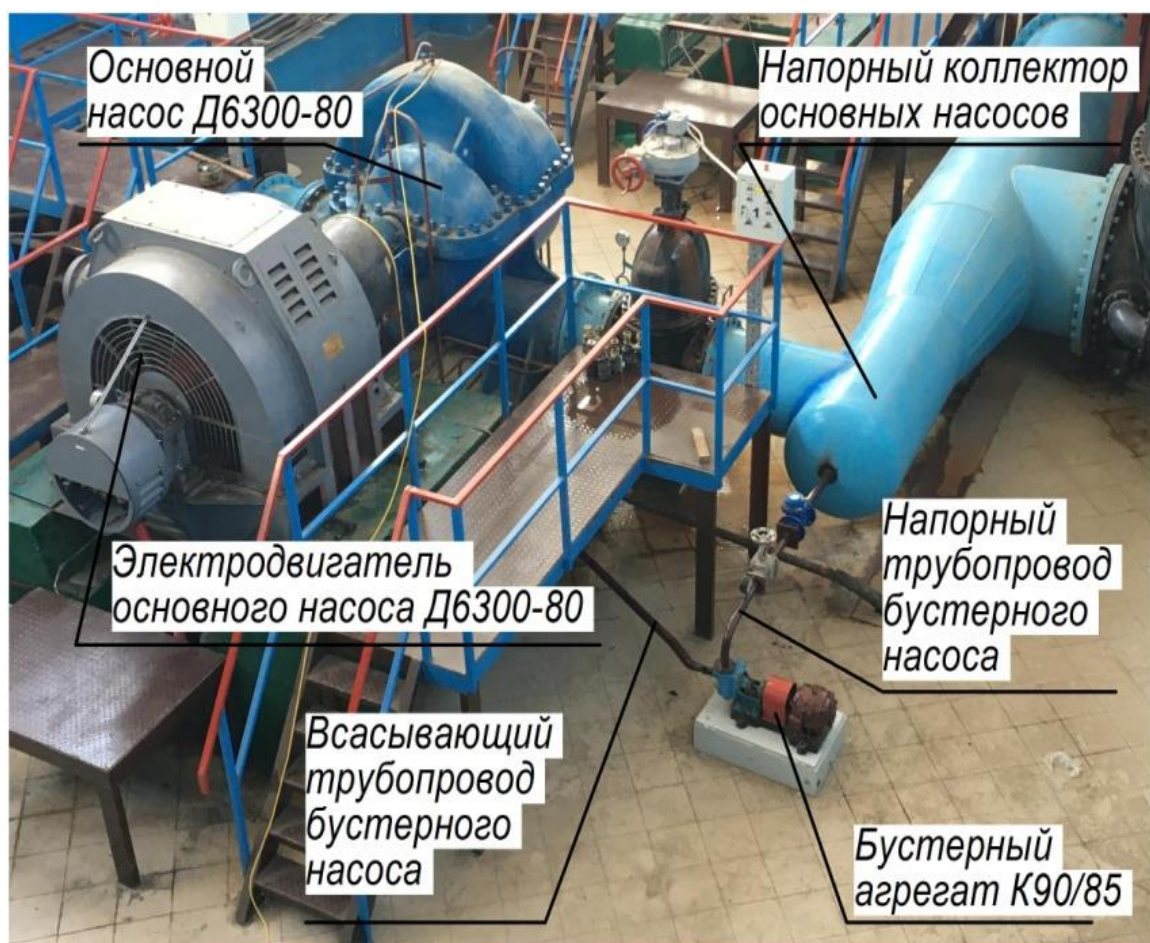


Рисунок 3.7 – Обвязка центробежного и бустерного насосов НС-1.

Общий вид

При подаче расхода на струйный аппарат по схеме, согласно рисунку 3.4, определялись:

- напор рабочего потока H_n манометром 7 (рисунок 3.8);



Рисунок 3.8 – Манометр для определения напора рабочего потока перед струйным аппаратом

- по зависимости:

$$Q_o = \varphi \sqrt{2gH_n} \quad (3.1)$$

расход рабочего потока (изменение расхода проводилось задвижкой 11 (см. рисунок 3.4));

- по зависимости:

$$H_o = \frac{p_o}{g\rho_o}, \quad (3.2)$$

где p_o – давление, определяемое расчётным путём по значению кинетической энергии $V_c^2/2g$ (3.3)

значение давления в камере смешения струйного аппарата;

- по вакуумметру на напорном трубопроводе насосной станции первого подъёма (рисунок 3.9) величину вакуума на расстоянии 1350 м от места установки струйного аппарата (в колодце вантуза) (см. рисунок 3.3).



Рисунок 3.9 – Место установки расходомера и вакуумметра (манометра) в колодце вантуза (расстояние от места установки струйного аппарата 1350 м)

Показания контрольно-измерительных приборов, (манометра, вакуумметра, расходомера) и результат вычислений по напору и расходу основного насоса, скорости потока в сопле струйного аппарата, величине вакуума в струйном аппарате, фактическим расходам насосной станции и скоростному напору в сопле струйного аппарата сведены в таблицу 3.1, по которой показаны установленные значения факторов напоров - манометром и расходов – расходомером и вычисленные величины скорости в рабочем потоке V_0 , вакуума в струйном аппарате, скоростного напора в сопле $V_0^2/2g$, коэффициента гидравлического сопротивления, показания вакуума в колодце вантуза (см. рисунок 3.9) расход и напор насосной станции первого подъёма.

Таблица 3.1 – Показания приборов и результаты вычислений по п.1 задачи исследований

Напор маномет- ра 7, м (см. ри- сунок 3.4)	Фактиче- ский расход струйного аппарата, м ³ /с	Ско- рость рабочего потока в струй- ном ап- парате V _о , м/с	Величи- на ваку- ума в струй- ном ап- парате, м	Скорост- ной напор в сопле струйного аппарата V _о ² /2g, м	Коэффициент гидравлическо- го сопротивле- ния $\lambda = \frac{h_w \cdot D \cdot 2g}{L \cdot V^2}$ (h _w определяет- ся по маномет- ру 7 рисунок 3.4)	Показания вакууммет- ра в колод- це вантуза, м (см. рису- нок 3.9)	Фактиче- ский расход насосной станции (м ³ /с) пер- вого подь- ёма (по рас- ходомеру рисунок 3.9)	Фактиче- ский напор насосной станции первого подъёма, м (по мере увеличения расстояния 0–2700 м)
50	0,040	25,05	2,81	31,99	0,034	2,41	0,050	30,00
60	0,080	27,44	3,30	38,38	0,030	2,83	0,058	38,40
70	0,085	29,64	3,90	44,78	0,024	3,64	0,069	43,20
80	0,120	31,69	4,50	51,19	0,022	4,02	0,088	48,50
90	0,160	33,60	4,90	57,54	0,019	4,30	0,100	50,60
100	0,210	35,43	5,05	63,98	0,018	4,80	0,140	63,23
110	0,280	-	5,95	66,15	0,017	4,92	0,160	88,0

Анализ таблицы 3.1 показывает отличие величины вакуума в струйном аппарате от создавшегося вакуума в напорном трубопроводе в пределах 10–12 %, что подтверждается возможностью транспортировки жидкости без дополнительного сброса воздуха с расходом от 0,05 м³/с до 0,16 м³/с при удалении расходомера на 1350 м от здания насосной станции первого подъёма.

3.2 Определение величины вакуума в заполненном трубопроводе в зависимости от напора перед струйным аппаратом, напора насосной станции первого подъёма и длины трубопровода

Для вывода эмпирической зависимости напора рабочего потока перед струйным аппаратом, напора центробежного насоса насосной станции первого порядка и длины трубопровода от величины вакуума использована теория планирования эксперимента [3, 26, 32, 64] с применением трёхфакторного плана, где в качестве факторов использовались:

$H_1(X_1)$ – напор рабочего потока перед струйным аппаратом, определяемый по манометру 5 (рисунок 3.10);

$H_2(X_2)$ – напор центробежного насоса насосной станции первого подъёма, определяемый манометром 1 (рисунок 3.10);

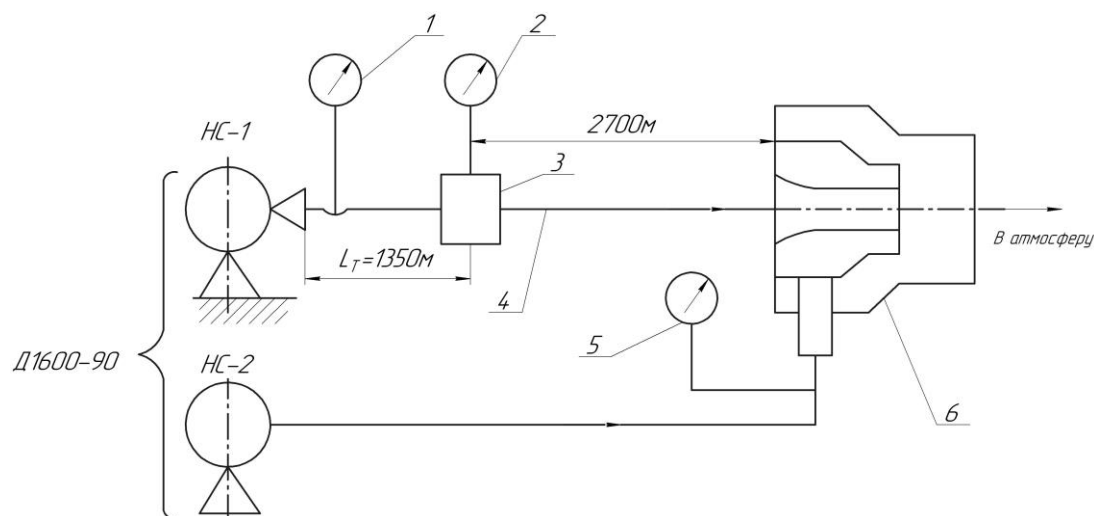
$L_T(X_3)$ – расстояние по трассе трубопровода от насосной станции первого подъёма.

В качестве критерия принималась величина вакуума B_T по трассе трубопровода, определяемая вакуумметром (рисунки 3.9, 3.10).

Исследования проведены в два этапа: первый – для вычисления степени влияния каждого фактора на критерий, второй – для расчёта наиболее значимых факторов на величину разряжения в напорном трубопроводе.

По результатам первой группы опытов строилась ранжировочная кривая зависимости степени влияния каждого фактора на критерий по которой определялась необходимость дальнейшего исследования по каждому факто-

ру. При минимальных значениях фактор стабилизировался и принималось решение о необходимости проведения дальнейших исследований.



1 – манометр H_2 ; 2 – вакуумметр (Вт); 3 – колодец вантуза; 4 – освобожденный напорный трубопровод; 5 – манометр H_1 ; 6 – кольцевой двухповерхностный струйный аппарат

Рисунок 3.10 – Схема установки оборудования по трассе напорного трубопровода НС-1

Параметры по первой группе опытов (фактические и кодированные) показаны в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры первой группы опытов

Факторы	Код	Интервалы, м	Уровни, м		
			Средний	Нижний	Верхний
H_1 , м	X_1	20	60(0)	40(-)	80(+)
H_2 , м	X_2	40	60(0)	20(-)	100(+)
L_T	X_3	1350	1350(0)	0(-)	2700(+)

Результат первой группы опытов (матрица планирования) показана в таблице 3.3.

В матрицу входят максимальные, нулевые и минимальные значения факторов в фактических и кодированных значениях, в результаты введены величины, полученные в опытных данных по строчке матрицы.

Максимальные: $H_1=80$ м; $H_2=100$ м; $L_T=2700$ м;

Средние (нулевые): $H_1=60$ м; $H_2=60$ м; $L_T=1350$ м;

Минимальные: $H_1=40$ м; $H_2=20$ м; $L_T=0$ (здание насосной станции)

Таблица 3.3 – Матрица планирования и результаты первой группы опытов

№ опыта	Факторы		$L_T(X_3)$	Величины, м			Критерий, м
	$H_1(X_1)$	$H_2(X_2)$		$H_1(X_1)$	$H_2(X_2)$	$L_T(X_3)$	
1	+	+	+	80	100	2700	-4,22
2	+	-	-	80	20	0	-4,64
3	-	+	+	40	100	2100	-2,70
4	-	-	-	40	20	0	0,00
5	+	0	0	80	60	1350	-3,54
6	+	0	0	80	60	1350	-3,46
7	-	0	0	40	60	1350	-2,50
8	-	0	0	40	60	1350	-2,84
9	0	+	+	60	100	2700	-4,01
10	0	+	+	60	100	2700	-4,00
11	0	-	-	60	20	0	-3,84
12	0	-	-	60	20	0	-3,60
13	0	0	0	60	60	1350	-3,90
14	0	0	0	60	60	1350	-3,84
15	0	0	0	60	60	1350	-3,67
16	0	0	0	60	60	1350	-3,70

(В таблице под знаком «+» максимальная величина фактора, под знаком «-» минимальная, под «0» среднее значение)

Обработка данных таблицы 3.3 методами линейной алгебры [30] позволила получить величину свободного члена ϵ_0

$$\epsilon_0 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \cdot B_T}{N}, \quad (3.4)$$

где $\sum_{i=1}^{i=n} \cdot B_T$ – сумма влияния произведений параметров факторов на критерий

$$\epsilon_0 = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \cdot B_T}{N}, \quad (3.5)$$

$$\epsilon_0 = 4,11 \quad \epsilon_1 = 1,49 \quad \epsilon_2 = 0,78 \quad \epsilon_3 = 0,25,$$

по значениям которых составлено эмпирическое уравнение

$$B_T = 4,11 + 0,97 H_1 + 0,78 H_2 + 0,25 L_T. \quad (3.6)$$

По зависимости (3.6) построена кривая степени влияния факторов $H_1(X_1)$, $H_2(X_2)$ и $L_T(X_3)$ на критерий – величину вакуума в напорном трубопроводе B_T по трассе (рисунок 3.11).

Степень влияния факторов на критерий оценивается знаком и величиной удвоенного коэффициента фактора.

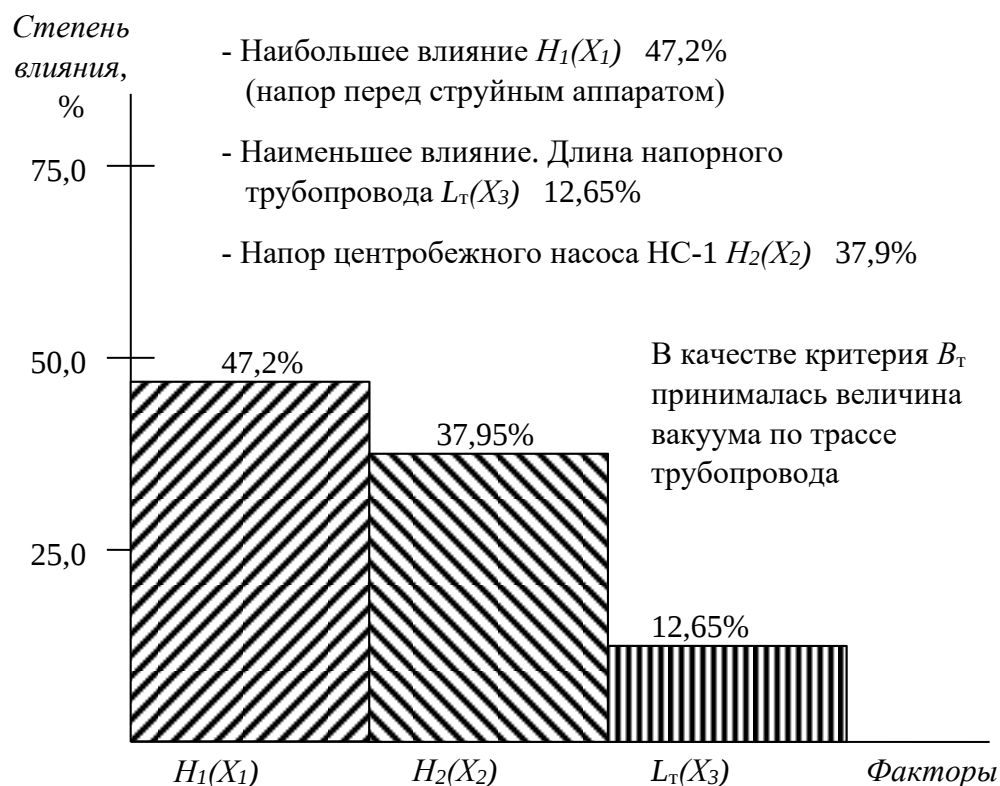


Рисунок 3.11 – Степень влияния факторов $H_1(X_1)$, $H_2(X_2)$ и $L_T(X_3)$ на критерий B_T

Анализ рисунка 3.11 показывает, что наибольшее влияние на возможность создания вакуума в напорном трубопроводе оказывает напор перед струйным аппаратом – $H_1(X_1)$ – 47,2 %. Напор насосной станции перед заполнением $H_2(X_2)$ оказывает влияние 37,95 % и длина трубопровода $L_T (X_3)$ влияет на 12,65 %, что указывает на мгновенное создание вакуума струйным аппаратом в трубопроводе на исследуемой длине 2700 м.

Для возможности окончательного расчёта заполнения трубопроводов проведена вторая группа опытов с двумя наиболее значимыми факторами $H_1(X_1)$ и $H_2(X_2)$ с изменёнными интервалами по напору и стабилизированной длиной заполняемого трубопровода 2700 м. Кодированные и фактические параметры показаны в таблице 3.4, матрица планирования – в таблице 3.5.

Таблица 3.4 – Кодированные и фактические величины факторов напора перед струйным аппаратом $H'_1(X'_1)$ и напора насосной станции первого подъёма $H'_2(X'_2)$

Факторы	Код	Интервалы, м	Уровень, м		
			Средний	Нижний	Верхний
H'_1 , м	(X'_1) Напор перед аппаратом	35,0	85,0	50,0	120,0
H'_2 , м	(X'_2) Напор НС-1	40,0	80,0	40,0	120,0

Таблица 3.5 – Матрица планирования и величины факторов для второй группы опытов

№ опыта	Факторы		Величины		Критерий
	$H'_1(X'_1)$	$H'_2(X'_2)$	$H'_1(X'_1)$, м	$H'_2(X'_2)$, м	
1	2	3	4	5	6
1	+	+	120,0	120,0	-6,8
2	-	-	50,0	40,0	-4,3

Продолжение таблицы 3.5

1	2	3	4	5	6	
3	+	-	120,0	40,0	-7,0	
4	-	+	50,0	120,0	-5,20	
5	0	+	85,0	120,0	-6,3	
6	0	-	85,0	40,0	-6,0	
7	0	0	50,0	40,0	-4,9	
8	-	0	50,0	80,0	-5,0	
9	+	0	120,0	80,0	-7,8	
Обработка результатов						
	$\sum(+)=21,6$ $\sum(-)=14,5$ $10 B'_T = +7,1$	$\sum(+)=18,3$ $\sum(-)=17,3$ $20 B'_T = +1,0$	$110 B'_T =$ $= 36,1$	$220 B'_T =$ $= 35,6$ $110 B'_T + 220 B'_T = 71,7$	$120 B'_T$ $\sum(+)=11,1$ $\sum(-)=12,2$ $120 B'_T = +1,1$	$\sum OB'_T =$ $= 53,3$
	$\frac{1}{2} \cdot 11 \cdot OB'_T = 36,1/2 = 18,05$					$\rho_3 = -\frac{1}{3} \cdot 11 \cdot OB'_T - \frac{1}{3} \cdot 110 \cdot OB'_T = 6,14$
	$\frac{1}{2} \cdot 12 \cdot OB'_T = 1,1/2 = 0,55$					$\rho_1 = -\frac{1}{3} \cdot OB'_T = \frac{53,3}{3} = 17,76 - 23,9 = -6,28$
	$\epsilon_{11} = 18,05 - \rho_1 = 18,05 - 17,76 = 0,29$					$\rho_2 = \frac{5}{9} \cdot OB'_T = 29,61$
	$\epsilon_{22} = -0,025$ $\epsilon_1 = \frac{1}{6} \cdot 10 B'_T = \frac{1}{6} \cdot 7,5 = +1,25$					$\epsilon_0 = \rho_2 + \rho_3 = 29,6 - 34,6 = -5,0$
$\epsilon_2 = \frac{1}{6} \cdot 20 B'_T = \frac{1}{6} \cdot 1 = 0,16$					$\epsilon_{12} = \frac{1}{2} X'_1 X'_2 = -3,14$	

Используя уравнение (3.7) в общем виде

$$B'_T = \epsilon'_0 \pm \epsilon_1 X'_1 \pm \epsilon_2 X'_2 \pm \epsilon_{11} X'^2_1 \pm \epsilon_{22} X'^2_2 \pm \epsilon_{12} X'_1 X'_2, \quad (3.7)$$

записывается уравнение (3.8) в натуральных величинах

$$B'_T = -5,0 + 1,25 X'_1 + 0,16 X'_2 - 0,029 X'^2_1 + 0,025 X'^2_2 - 3,14 X'_1 X'_2. \quad (3.8)$$

По зависимости 3.8 рассчитывается критерий B'_T в натуральных выражениях.

Проведённые две группы опытов позволяют определить величину вакуума в наполняемых трубопроводах при длине до 2700 м и максимальных возможных напорах для центробежных насосов до 120 м.

Для окончательного утверждения возможности использования экспериментально полученного уравнения (3.8) проведён расчёт критерия B'_τ по каждой строчке матрицы (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Фактические экспериментальные значения вакуума B'_τ , рассчитанные по матрице (см. таблицу 3.5)

№ опыта	Кодированные величины факторов (теоретические)		Величина вакуума, м		Отклонение, %
	$H'_1(X_1)$	$H'_2(X_2)$	Экспериментальная	Рассчитанная по уравнению (3.5)	
1	+1	+1	-6,8	-7,50	9,33
2	-1	-1	-4,3	-6,0	12,40
3	+1	-1	-7,0	-6,1	10,85
4	-1	+1	-5,2	-5,0	3,84
5	0	+1	-6,3	-7,54	10,44
6	0	-1	-6,0	-7,0	10,2
7	0	0	-4,9	-4,9	0
8	-	0	-5,0	5,4	7,40
9	+	0	-7,8	7,2	6,82

Анализ таблицы 3.6 показал максимальное расхождение опытных и расчетных параметров 12,4 % при минимальных напорах $H'_1 = 50$ м и $H'_2 = 40$ м, при этом наблюдается вакуум в трубопроводе в размере -6,0 м. Для определения наибольшего влияния напоров H'_1 и H'_2 на значение вакуума построены графические зависимости $H'_1(X_1) = f(B'_\tau)$ и $H'_2(X_2) = f(B'_\tau)$ (рисунки 3.12 - 3.13).

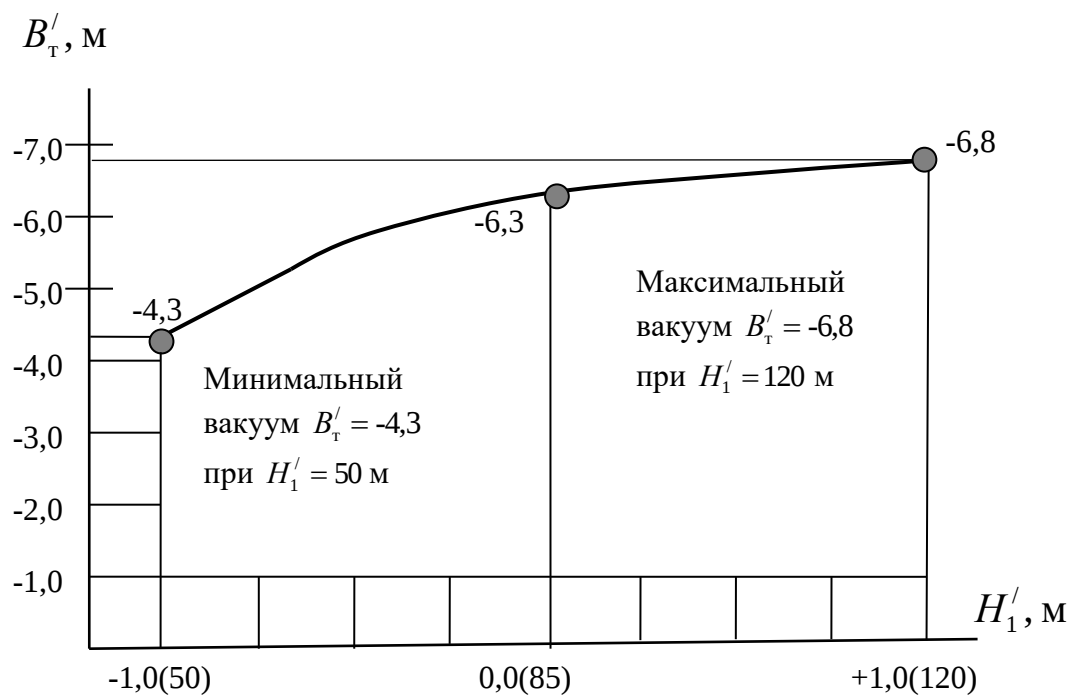


Рисунок 3.12 – Зависимость величины вакуума в трубопроводе B'_T от напора перед струйным аппаратом H'_1

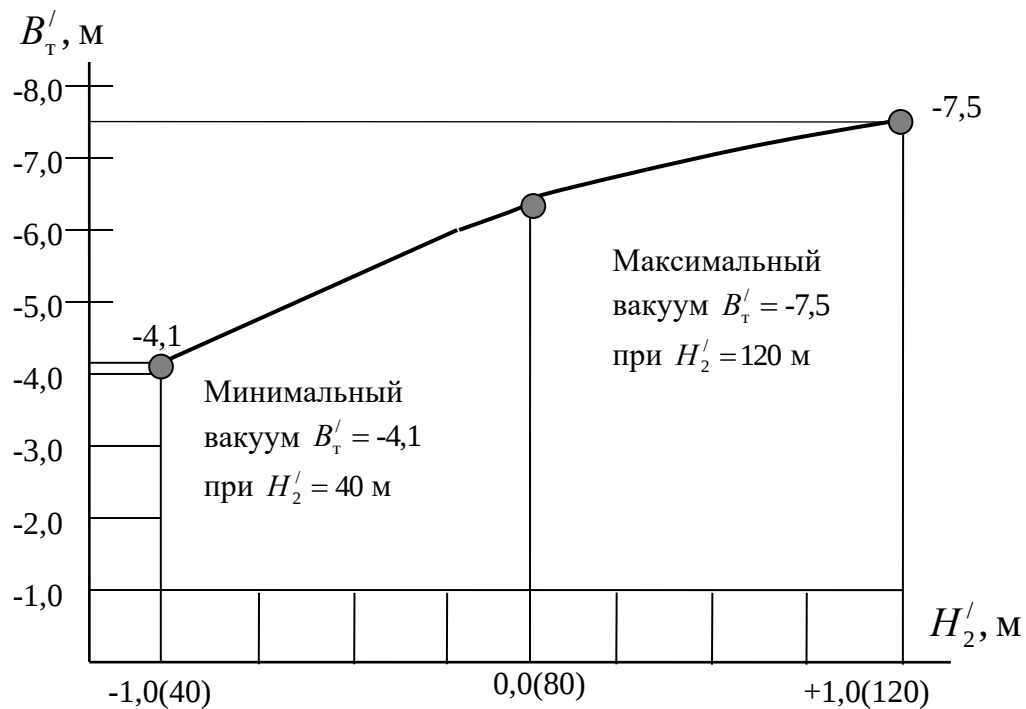


Рисунок 3.13 – Зависимость величины вакуума в трубопроводе B'_T от напора насосной станции первого подъёма H'_2

По рисункам 3.12 и 3.13 определяется значение величины разряжения в напорном заполняемом трубопроводе от -6,8 до -7,5 м в зависимости от напоров перед струйным аппаратом и насосной станцией первого подъёма (до 120 м).

Из вышеизложенного видно, что для наибольшей вероятности возникновения вакуума необходим напор перед струйным аппаратом такой величины, который способен создать отрицательное давление в камере смешения струйного аппарата и максимально увеличенную величину кинетической энергии по сравнению с потенциальной.

Выводы по главе

Экспериментальными исследованиями установлено:

- отличие величины вакуума в заполняемом напорном трубопроводе на расстоянии 1350 м от вакуума в струйном аппарате составляет 12,1 % (-2,41 м против -2,81 м), что подтверждает возможность заполнения трубопроводов без дополнительных устройств – клапанов сброса воздуха;

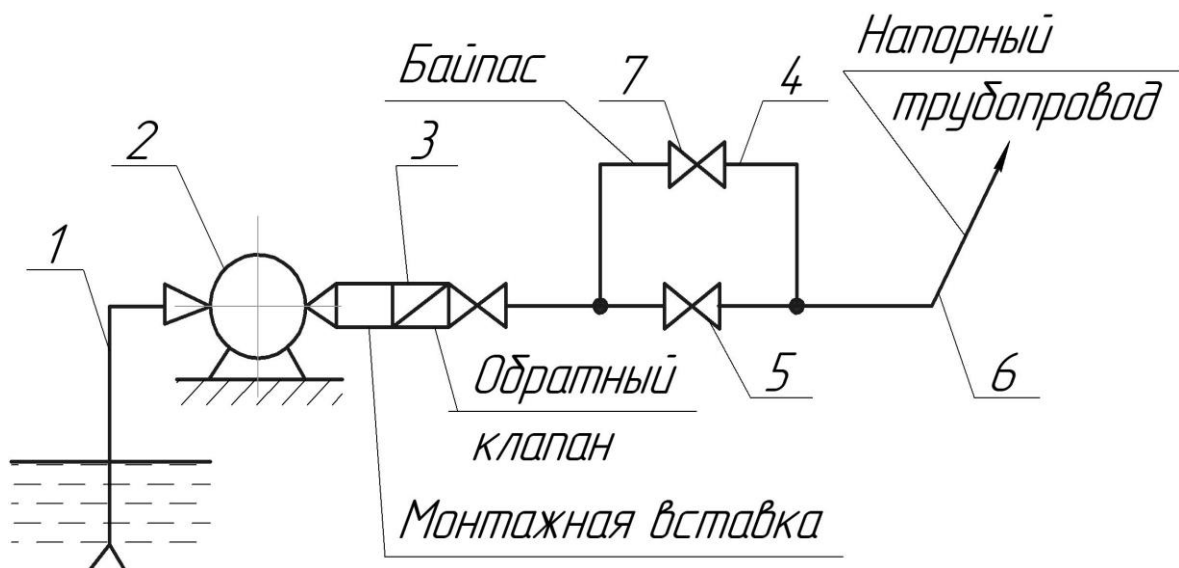
- влияние максимально возможных напоров насосного оборудования 120 м на степень разряжения в напорном трубопроводе, установленное экспериментальными исследованиями с использованием теории планирования эксперимента, оказывает в равной степени как напор насосной станции первого подъёма H'_1 , так и напор перед струйным аппаратом H'_2 (-6,8 ÷ -7,5) м;

- установлено, что для наибольшей вероятности возникновения вакуума в напорном трубопроводе необходима величина напора перед струйным аппаратом такой величины, которая способна увеличить кинетическую энергию в камере смешения $\frac{V_c^2}{2g}$ до максимального отрицательного значения потенциальной энергии $\frac{P_c}{g\rho_0}$.

4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС ВОЗМОЖНОСТИ УДАЛЕНИЯ ВОЗДУХА СТРУЙНЫМИ АППАРАТАМИ ИЗ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И ДАЛЬНЕЙШЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Как указывалось выше, особое значение эффективной эксплуатации гидроагрегатов имеет вопрос необходимости поддержания оборудования в оптимальных режимах с максимальным КПД при внедрении неизученных, внедряемых мероприятий по эксплуатации насосного оборудования, в данном случае, первичное заполнение напорных трубопроводов и дальнейшая эксплуатация.

При наполнении напорных трубопроводов перед началом эксплуатационного периода, как правило, трубопровод заполняется водой бустерным насосом в случае его наличия. Возможно заполнение основным насосом через байпас (рисунок 4.1), что экономически невыгодно, так как основной агрегат работает на прикрытую задвижку на напорном трубопроводе. Такого рода варианты заполнения трубопровода сопровождаются процессом сброса воздуха в напорном трубопроводе через клапаны-вантузы.



1 – трубопровод всасывающий; 2 – насос; 3 – клапан обратный; 4 – байпас;

5, 7 – запорная арматура; 6 – трубопровод напорный

Рисунок 4.1 – Напорный трубопровод с байпасом

Как указывалось ранее, клапана сброса воздуха устанавливаются по трассе водовода в повышенных местах в специально оборудованных колодцах. В настоящем разделе рассматривается эксплуатационный технологический процесс сброса воздуха с помощью водо-воздушного струйного насоса, установленного в местах водовыпуска насосных станций первого подъёма, используемых как для целей мелиорации, так и водоснабжения.

4.1 Технологический процесс пуска исследуемого комплекса гидромеханического оборудования

4.1.1 Пуск оборудования на свободный трубопровод

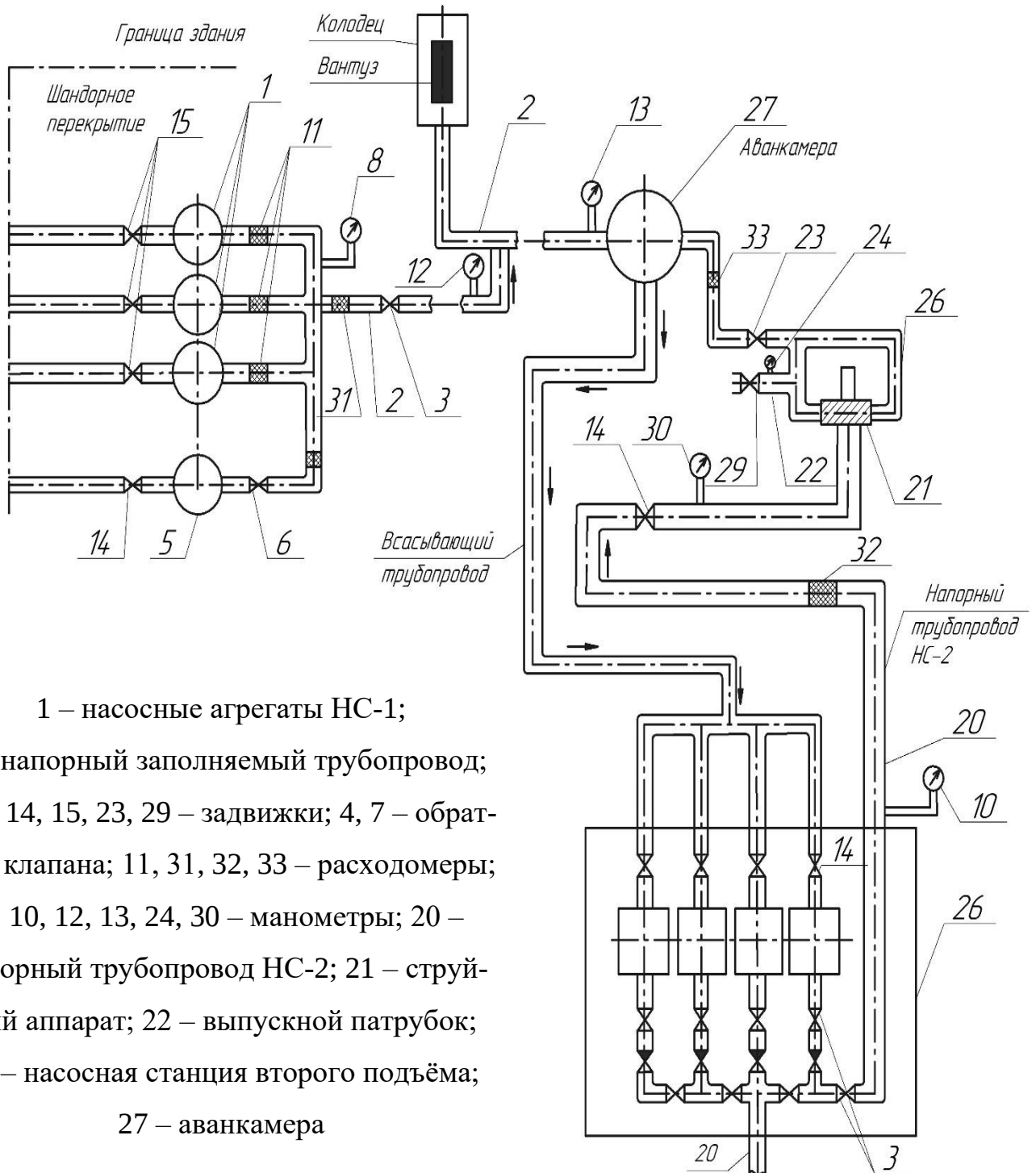
Описание технологического процесса пуска всего комплекса гидромеханического оборудования при заполнении напорного трубопровода рассматриваемых эксплуатируемых насосных станций первого и второго подъёма, используемых для целей орошения и водоснабжения. Общая схема установки оборудования приведена на рисунке 4.2.

Пуск гидромеханического оборудования осуществляется в следующей последовательности.

Заполняются всасывающие трубопроводы насосной станции первого подъёма открытием задвижек (станция первого подъёма заглублённая, вследствие чего заполнение проводится автоматически).

Пускается один из трёх основных насосных агрегатов 1 при одной из трёх плавно открываемых задвижек 3, 14 на свободный трубопровод 2, при этом воздух, находящийся под атмосферным давлением в трубопроводе 2, сжимается, что зафиксируют манометры 8, 13. Испытываемый напорный трубопровод 2 постепенно заполняется при закрытом клапане сброса воздуха (вантузе). В случае, когда аванкамера насосной станции 2^{го}-подъёма заполнена имеется возможность пустить струйный аппарат от насосного оборудования НС-2 (рисунок 4.2). При отсутствии возможности пуска оборудования НС-2 (первичный пуск в весенний период) для пуска струйного аппарата необходимо дополнительное оборудование, которое может быть использова-

но при эксплуатационных вариантах всего срока обслуживания насосного оборудования.



1 – насосные агрегаты НС-1;

2 – напорный заполняемый трубопровод;

3, 6, 14, 15, 23, 29 – задвижки; 4, 7 – обратные клапана; 11, 31, 32, 33 – расходомеры;

8, 10, 12, 13, 24, 30 – манометры; 20 – напорный трубопровод НС-2; 21 – струйный аппарат; 22 – выпускной патрубок;

26 – насосная станция второго подъема;

27 – аванкамера

Рисунок 4.2 – Схема установки оборудования на насосных станциях первого и второго подъема для целей орошения из р. Кубань Темрюкского района Краснодарского края

Пускается один основной агрегат НС-2 с забором из аванкамеры 27, заполняется напорный трубопровод 20 струйного аппарата 21, что фиксирует манометр 24.

Открывается задвижка 23 всасывающего трубопровода струйного аппарата 21, являющегося напорным магистральным трубопроводом 2, НС-1.

Струйный аппарат 21 начинает откачку воздуха из трубопровода 2, что способствует одновременному беспрепятственному заполнению напорного трубопровода НС-1, с транспортировкой водовоздушной смеси по трубопроводу 22 при открытой задвижке 29, с фиксированием процесса манометром 24.

Процесс продолжается до полного заполнения аванкамеры 27, при этом исключается необходимость использования вантуза, при необходимости включается насосная станция НС-1. В случае отключения НС-2, при закрытых задвижках 14 и обратных клапанов 4 НС-1, напорный трубопровод 2 находится в заполненном состоянии до необходимости производства ремонтных работ на трассе трубопровода или в зданиях насосных станций НС-1 и НС-2.

Заполнение напорного трубопровода может осуществляться по данной технологии бустерным насосом 5 НС-1 (см. рисунок 3.7), что экономически наиболее выгодно вследствие уменьшенной мощности приводных двигателей.

Для возможности наиболее удобного использования предлагаемой технологии заполнения напорных трубопроводов машинистами насосных станций данный процесс разработан в табличной форме (таблица 4.1).

Вышеизложенное поэтапное использование оборудования и контрольно-измерительных приборов позволит обслуживающему персоналу без специальной подготовки провести пуск насосных станций НС-1 и НС-2 без отсутствия аварийных ситуаций.

Анализ таблицы 4.1 показывает возможность эксплуатации головной насосной станции при пуске с закрытым клапаном сброса воздуха, (вантуза)

заполнение аванкамеры при показаниях манометра, установленного на напорном водоводе, возможность пуска станции бустерным насосом.

Таблица 4.1 – Порядок пуска оборудования насосных станций первого и второго подъёма при пуске НС-1 и струйного аппарата при заполнении напорного трубопровода основными агрегатами

№ п/п	Задвижки		Манометры		Расходомеры (при наличии показания)	Вантуз
	№ по схеме	Состояние	№ по схеме	Показания		
Пуск основного агрегата						
1	15	Открытые	12	Разница отметок водоисточника и оси насоса	Максимальное	Закрыт
2	3 (при пус- ке 1)	Открытые	13	Плавное увеличение	Максимальное	Закрыт
3	14	Открытые	—	—	Максимальное	Закрыт
4	3, 31, 29	Открытые	24	Максимальное	11 (максимальное)	Закрыт
5	23, 29	Открытые	24	Максимальное	11 (максимальное)	Закрыт
6	Заполнение аванкамеры 27 (манометр 13)					
7	29	Открытые	30	Плавное увеличение	31 (до максимума)	Закрыт
Пуск бустерным насосом 5						
1	6, 14	Открытые	8	Плавное увеличение	11 (до максимума)	Закрыт
2	3, 29, 31	Открытые	24, 30	Плавное увеличение	11 (до максимума)	
3	Заполнение аванкамеры 27					
4	3	Открытые	30	Плавное увеличение	31 плавное увеличение	

4.1.2 Эксплуатация в вегетационный период (для целей мелиорации и водоснабжения)

Использование насосных станций первого и второго подъёма НС-1 и НС-2 для целей мелиорации предлагается в работе в связи с отсутствием возможности увеличения напора центробежных одноколёсных насосов выше 100-120 м. Одновременно исследованные насосные станции в данном проекте предлагаются для целей водоснабжения. Эксплуатация НС-1 и НС-2 в вегетационный период осуществляется с соблюдением стандартных норм, предусмотренных при проектировании [21, 85, 86]. Гидравлические параметры гидромеханического оборудования, в основном, зависят от параметров сети, количества включённых насосных агрегатов и наличия дождевальных установок, обслуживающих оросительную сеть.

При использовании насосных станций для водоснабжения в качестве подающих устройств первого подъёма основной задачей является транспортировка сырой воды в накопитель с дальнейшей очисткой и подачей в населённые пункты. Технологические эксплуатационные условия практически не отличаются от вышеизложенных при соблюдении норм, предусмотренных при проектировании.

Основным необходимым условием эксплуатации насосных станций в вегетационный период является поддержание напорных трубопроводов и аванкамеры в заполненном состоянии. Данный вопрос, как правило, решается бустерным насосом [96], в данном случае на исследованных насосных станциях используется насос консольного типа К90/85 (рисунок 4.3). Условие использования бустерных насосов – увеличенная величина напора по сравнению с основными агрегатами на 8-10 м независимо от подачи. В процессе эксплуатации при временных остановках на степень заполнения трубопроводов указывают показания манометра 13 на НС-1 и манометра 30 на НС-2 (см. рисунок 4.2), фактически показывающих разность отметок аванкамеры 27 и поверхности водоисточника (р. Кубань).

В случае понижения значения показаний манометра включение струйного аппарата или использования вантузов необязательно, бустерный насос настраивается на автоматический режим постоянного давления в сети. Кроме того, необходимым условием безаварийной работы насосных станций является постоянное наличие необходимого запаса воды в аванкамере насосной станции НС-2.

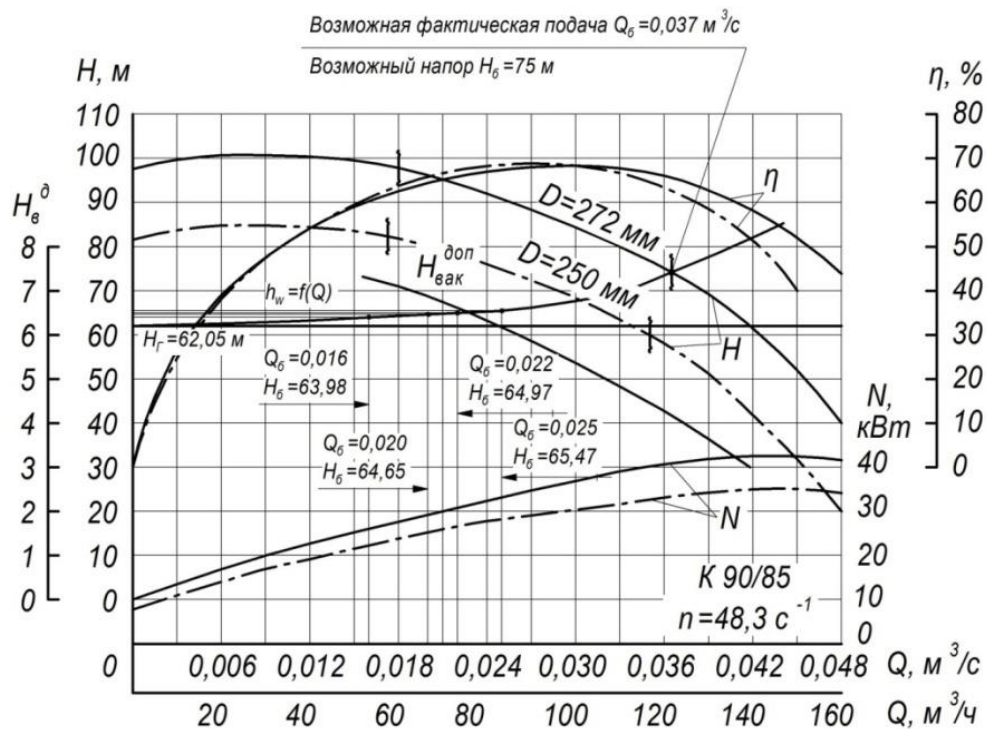
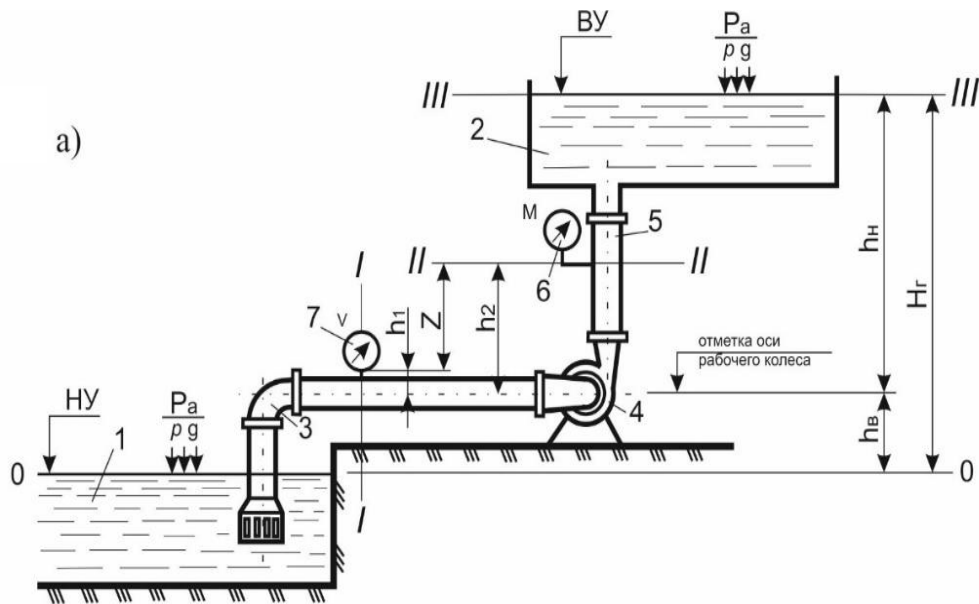


Рисунок 4.3 – Напорно-расходная характеристика бустерного насоса К 90/85

В рассматриваемой технологической схеме насосная станция первого подъёма эксплуатируется с высотой всасывания, при уровне воды в вод источнике ниже отметки оси насоса (рисунок 4.4).

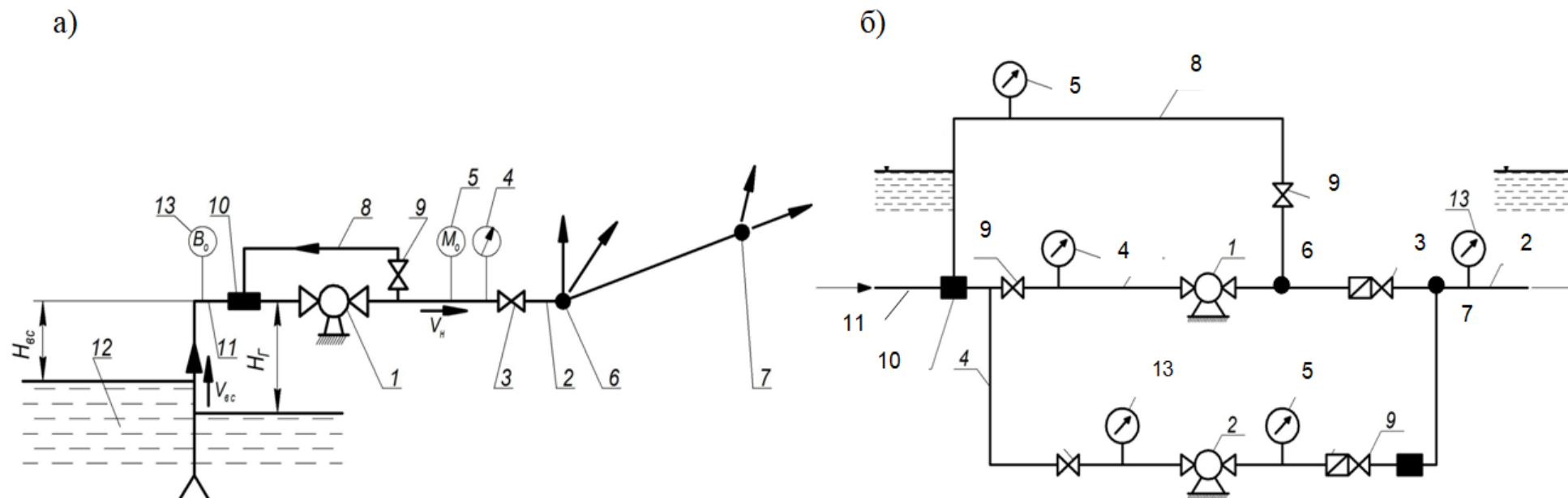
При гидрологических колебаниях уровня в р. Кубань, когда уровень отметки поверхности падает до критических значений и кавитационный запас насосного оборудования понижается, вследствие чего допустимая вакуумметрическая высота всасывания $H_{\text{доп}}^{\text{вак}}$ падает (рисунок 4.5), неизбежна остановка оборудования и прекращение подачи, в таком случае возможна установка струйного аппарата на всасывающей линии с питанием от линии рециркуляции по нижеприведённой схеме и с высокими энергетическими характеристиками.



1 – водоисточник; 2 – резервуар напорный; 3 – трубопровод всасывающий;
4 – насос; 5 – трубопровод напорный; 6,7 – измерительная аппаратура

Рисунок 4.4 – Насосная станция с положительной высотой всасывания

По вышеприведённой схеме допустимую высоту всасывания центробежных насосных агрегатов имеется возможность повысить на величину напора H_T (для энергоэффективных кольцевых струйных аппаратов (рисунок 4.6) до 20 м). Рекомендациями литературных источников [51, 81, 87, 112] установлено, что в настоящее время отсутствует необходимость в проектировании заглублённых насосных станций в связи с отсутствием экономической целесообразности. Кроме того, усложняется обслуживание данного вида водозаборов и всасывающих линий. При эксплуатации исследованного насосного оборудования для целей водоснабжения по вышеприведённой схеме с подачей в аванкамеру на НС-2 напор НС-1 зависит от отметки уровня воды в водовыпускной линии и остаётся практически постоянным при неизменном вышеописанном технологическом процессе (см. таблицу 4.1). Не менее важным технологическим процессом эксплуатации насосных агрегатов является отключение оборудования от сети при остановке станции на зимний период, при котором практически всё контрольно-измерительное оборудование находится в нулевом положении. При этом необходимо при завершении процесса эксплуатации наличие всех освобождённых от воды трубопроводов. Наиболее актуальным является вопрос освобождения сбросного колодца, в котором необходимо убедиться визуальным способом.



1 – основной агрегат; 2 – магистральный трубопровод; 3,9 – задвижки; 4, 5 – манометры; 6, 7 – место отбора; 8 – рециркуляционный трубопровод; 9 – запорная арматура; 10 – аппарат струйный; 11 – линия всасывающая; 12 – водоисточник; 13 – вакуумметр

а – положительная высота всасывания; б – отрицательная высота всасывания

Рисунок 4.5 – Схема водозабора с линией рециркуляции и струйным аппаратом на всасывающем трубопроводе

Схема используется при наличии линии рециркуляции для возможности эксплуатации струйного аппарата в случае необходимости повышения кавитационного запаса основного насосного оборудования.

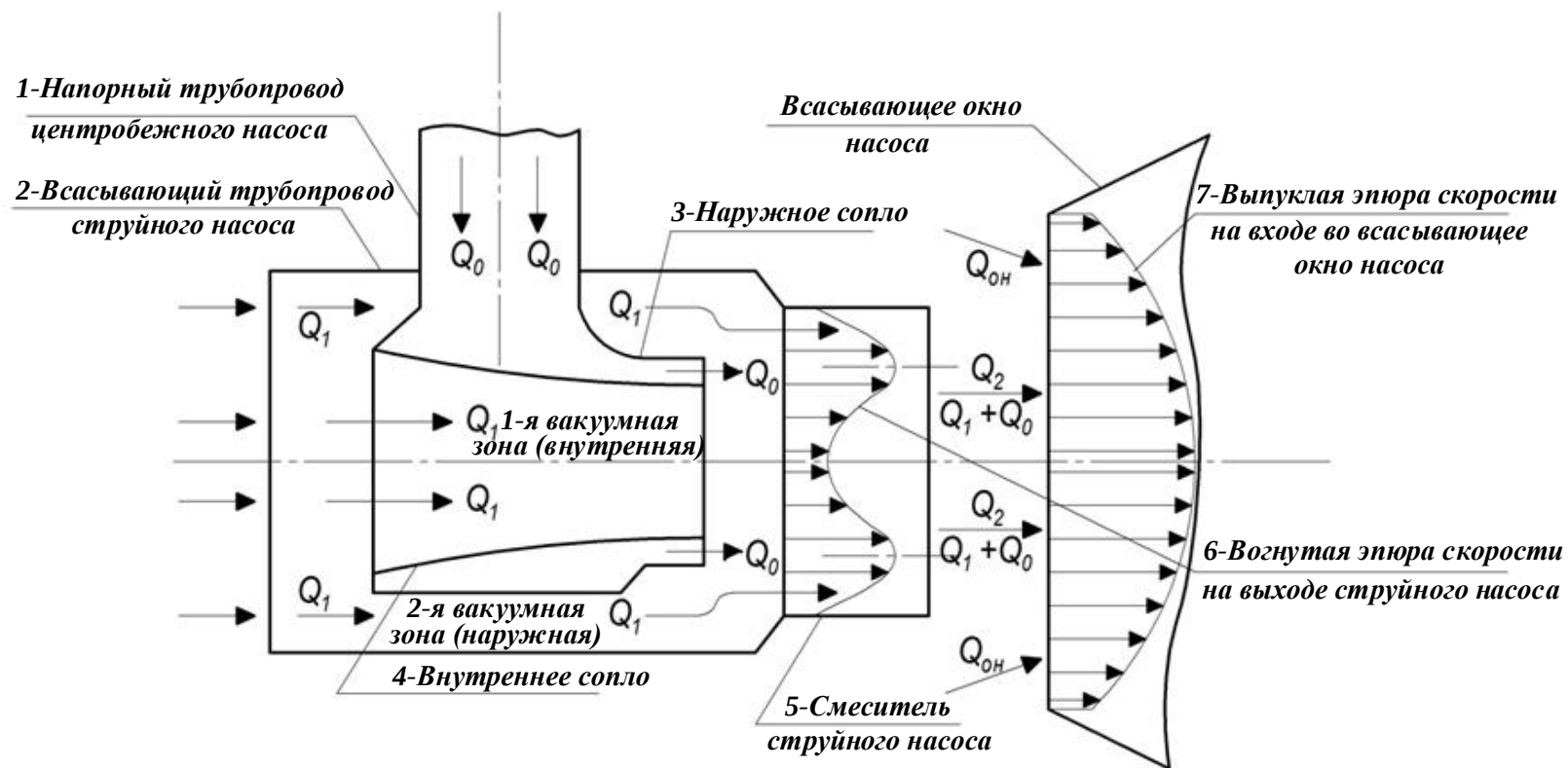


Рисунок 4.6 – Струйный аппарат с высокими энергетическими характеристиками

Конструкция аппарата устроена с возможностью уменьшения длины смесителя 5, что оказывает наибольшее влияние на потери напора в камере смешения, основное отличие от аппаратов с центральной струей, в которых уменьшение КПД в основном зависит от длины смесителя [68].

Внезапная остановка сопровождается состоянием эксплуатационных вариантов гидромеханического оборудования, при котором наиболее вероятны аварийные ситуации – реверс двигателей, гидроудар, разрыв сплошности потока, наличие вакуумных пространств в напорных трубопроводах. Для исключения вышеперечисленных явлений насосные станции оборудуются дополнительным электропитанием от дизель-генераторов невысокой мощности для срочного закрытия задвижек на напорных трубопроводах с необходимым оборудованием электропровода.

Выводы по главе

Технологический процесс заполнения напорных трубопроводов с помощью струйных аппаратов при пуске, эксплуатации и остановки насосных агрегатов позволяет:

- определить порядок заполнения напорных трубопроводов насосных станций без использования колодцев с клапанами сброса воздуха – (вантузами) по трассе водовода;
- усовершенствовать и упростить процесс управления трубопроводным оборудованием и контрольно-измерительными приборами при пуске, эксплуатации и остановке гидромеханического оборудования;
- повысить, в случае необходимости, кавитационный запас и допустимую вакуумметрическую высоту всасывания при критических гидрологических колебаниях в водоисточнике;
- обосновать возможность безаварийной эксплуатации трубопроводной сети и сооружений по трассе магистральных водоводов.

5 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА ЗАПОЛНЕНИЯ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТОДОМ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО СОЗДАНИЯ ВАКУУМА СТРУЙНЫМИ АППАРАТАМИ

Как ранее указывалось, при заполнении напорных трубопроводов перед пуском насосного оборудования на повышенных точках профиля напорного трубопровода устраиваются колодцы с клапанами сброса воздуха [2, 4, 5, 18, 19] (рисунок 5.1), создающие проблемы механизаторам при обработке почвы сельхозугодий, удорожающие строительство и увеличивающие сроки производства работ. Проблемы при заполнении трубопроводов существуют практически во всех системах гидротранспорта жидкостей и разделяются на две категории:

1. Сжатие воздуха до определённых пределов перед потоком жидкости, транспортируемым насосным оборудованием с дальнейшим выпуском через клапана сброса воздуха.

2. Откачка воздуха из торцевого сечения выпускного сооружения и создание отрицательного давления в трубопроводах при их заполнении.

Второй вариант, естественно, упрощает заполнение в связи с расположением несложного оборудования в одном сечении трубопровода в отличие от первого с устройством клапанов по всей длине трассы трубопровода. В данном разделе экономически сравниваются вышеуказанные варианты, первый – как заменяемый, второй – как внедряемый.

Основным отличием предлагаемого варианта заполнения от существующих является возможность установки на всей трассе трубопровода одного устройства устанавливаемого в конце заполняемого трубопровода. Устройство может эксплуатироваться, как от энергии и насосной станции второго подъёма, так и от дополнительной незначительной по величине (3-5 кВт) передвижной установки. Передвижная установка может быть изготовлена в условиях мастерской, насосной станции, других мастерских по результатам проведённых исследований настоящей работы. Струйный аппарат может быть изготовлен одной из существующих конструкций – с центральным под-

водом. Кольцевой одноповерхностной или кольцевой двухповерхностной струёй на токарных станках.



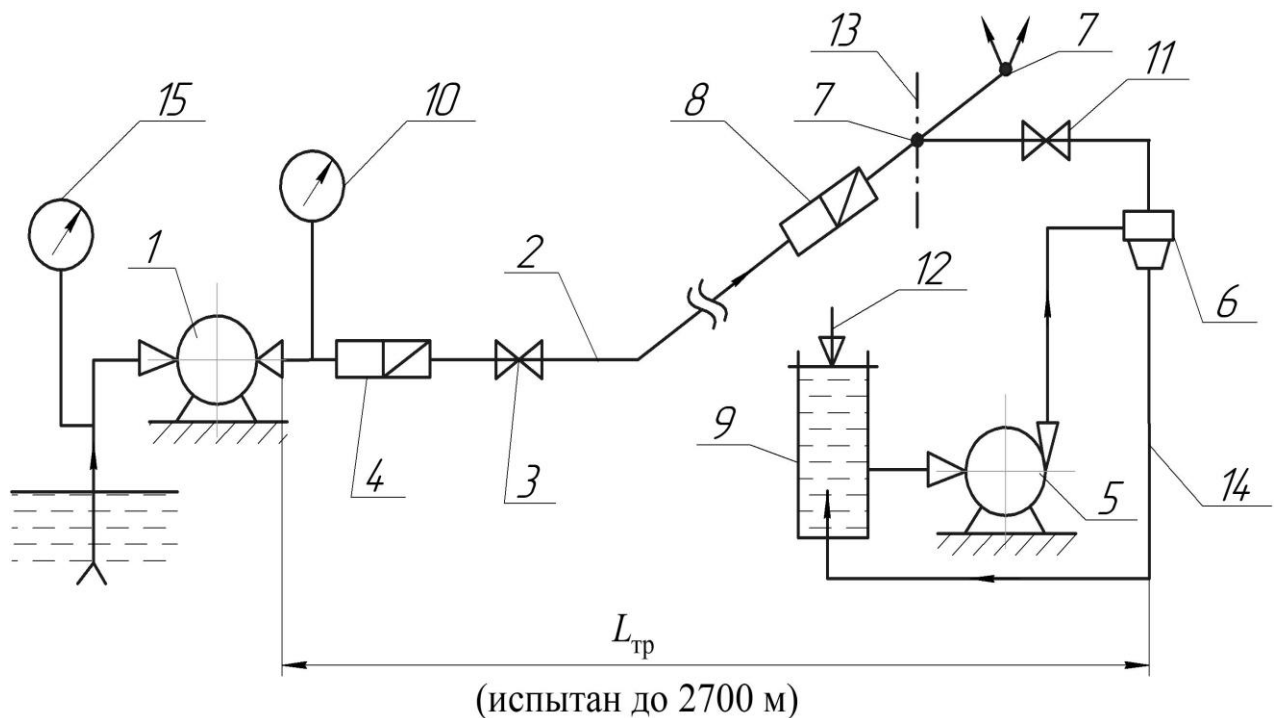
Рисунок 5.1 – Колодец с задвижкой и клапаном сброса воздуха – вантузом на трассе напорного трубопровода насосной станции первого подъёма Темрюкского района Краснодарского края. Общий вид

В настоящей работе в качестве предлагаемого варианта рассмотрен вариант создания отрицательного давления в напорном трубопроводе струйным аппаратом, установленным в торце выходного сечения трубопровода для возможности заполнения без устройства вантузов по трассе при пуске насосного оборудования насосной станции.

5.1 Характеристика предлагаемого варианта заполнения напорного трубопровода

Ранее в разделах 2, 3 рассмотрена фактическая возможность создания отрицательного давления с помощью струйного аппарата и напора действующих насосных станций НС-1 и НС-2 в напорном трубопроводе (см. рисунок 2.1).

Для экономического обоснования использования предлагаемой технологии рассматривается упрощённый вариант создания отрицательного давления в напорном трубопроводе, который может быть использован на эксплуатируемых, в народном хозяйстве, насосных станциях (рисунок 5.2).



- 1 – насосная станция первого подъёма; 2 – трубопровод напорный; 3 – задвижка;
 4 – клапан обратный; 5 – компрессор струйного аппарата; 6 – аппарат струйный;
 7 – водовыпуск; 8 – вантуз; 9 – ёмкость; 10 – манометр; 11 – задвижка; 12 – клапан;
 13 – ось вантуза; 14 – трубопровод удаления воздуха; 15 – вакуумметр

Рисунок 5.2 – Схема удаления воздуха из напорного трубопровода насосной станции первого подъёма (упрощённый вариант)

Предложенный упрощённый вариант, который может быть использован на действующих насосных станциях, работает следующим образом:

- пускается насосный агрегат 1 (пуск насосного агрегата засвидетельствует манометр 10 и вакуумметр 15);
- задвижка 3 открывается, с фиксации подачи расходомером 4;
- включается насос 5 струйного аппарата 6;
- открывается задвижка 11 всасывающего трубопровода струйного аппарата и отсасывается воздух из напорного трубопровода 2, трубопровод за-

полняется; вантуз 8 закрыт, водовоздушная смесь поступает в ёмкость, из которой сбрасывается воздух через клапан ёмкости 12. Процесс продолжается до появления воды в водовыпуске 7.

Предлагаемый способ для экономического обоснования сравнивается с вариантом удаления воздуха с помощью устанавливаемых в колодцах клапанов сброса – вантузов. Экономический эффект от досрочного ввода разработанной технологии определяется по зависимости действующей инструкции СН-509-78 [46, 47].

$$\mathcal{O} = \mathcal{O}_c + \mathcal{O}_\phi, \quad (5.1)$$

где $\mathcal{O}_c$ – эффект от создания и эксплуатации предлагаемой технологии:

$$\mathcal{O}_c = \beta \varphi \sum_{i=1}^n \mathcal{Z}_1 \alpha_1 + \mathcal{O}_s - \sum_{i=1}^n \mathcal{Z}_2 \alpha_2, \quad (5.2)$$

где

$$\mathcal{Z}_1 = C_1 + E_n K_{y\partial 1}, \quad (5.3)$$

$$\mathcal{Z}_2 = C_2 + E_n K_{y\partial 2}, \quad (5.4)$$

где $\mathcal{Z}_1, \mathcal{Z}_2$ – затраты по вариантам;

C_1, C_2 – цены монтажных работ (7,5 % от стоимости строймонтажа);

$K_{y\partial 1}, K_{y\partial 2}$ – капитальные вложения (15 % от стоимости оборудования);

E_n – коэффициент эффективности (1,8);

β – качественный параметр (принимается 1,8 [46]);

φ – коэффициент срока эксплуатации (принимается 1,0 [46]);

α – коэффициент приведения (принимается 1,0 в зависимости от завершения строительства $\alpha_1 = 1,29$; $\alpha_2 = 1,25$).

Расчёт проведён по насосной станции первого подъёма (рисунок 2.1).

Исходные данные показаны в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Стоимость сооружений и устанавливаемого оборудования

Наименование сооружений (оборудования)	Вариант		Обоснование
	заменяемый, тыс. руб	предлагаемый, тыс. руб	
1	2	3	4
1. Стоимость материалов для колодцев (9 шт) (цемент – 20 мешков, кирпич – 9000 шт, песок – 20 т)	- 48	- -	(рисунок 5.1) [51, 81]
2. Строительство колодцев (9 шт)	130,0	-	рис. 3.3
3. Струйный аппарат (изготовление, материалы, монтаж)	-	50,0	Мастерские управления «Мелиоводхоз»
4. Ёмкость водовоздушной смеси	-	10,0	[81], рис. 3.3
5. Трубопроводы (полиэтилен Ø80)		40,0	[77]
6. Вантуз (9 шт)	80 x 9 = 720,0	-	
Итого затраты по основным фондам $\mathcal{E}_\phi$:	898,0	100,0	Колонка вариантов
Строймонтаж C_1	67,35		7,5 % [75]
C_2		7,5	
Кап. вложения (удельные) K_1	768,0 x 0,15 = 115,2		15 % от кап. вложений [75]
K_2		60 x 0,15 = 9,0	
Эффективность кап. вложений E_n	1,8		Коэффициент от удельных кап. вложений

Итого: по зависимостям (5.3) и (5.4) определяются затраты по вариантам:

$$Z_1 = 67,35 + 115,2 \cdot 1,8 = 274,70 \text{ (тыс. руб.)},$$

$$Z_2 = 7,5 + 9,0 \cdot 1,8 = 23,70 \text{ (тыс. руб.)}.$$

Эффект в сфере эксплуатации определяется:

$$\mathfrak{E}_9 = \frac{(I_1 - I_2) - E_n(K_2 - K_1)}{p_2 + E_n}, \quad (5.5)$$

где K_1, K_2 – капиталовложения по вариантам ($K_1 = 115,2$ тыс. руб, $K_2 = 9,0$ тыс. руб);

$I_{1,2}$ – эксплуатационные издержки (персонал, электроэнергия, сопутствующие капиталовложения):

$$I_{12} = I'_{12} + C \quad (I_{12} - \text{амортизация основных фондов});$$

$$I'_{12} = p_{c1,2} + p_{об1,2} \quad (p_{c1,2} - \text{отчисления на ремонт сооружений, 4,1 \% от кап. вложений; } p_{об1,2} - \text{отчисления на текущий ремонт, 15 \% от стоимости оборудования});$$

$$p_{c1} = 898,0 \cdot 0,041 = 36,81 \text{ (тыс. руб.)};$$

$$p_{c2} = 100,0 \cdot 0,041 = 4,1 \text{ (тыс. руб.)};$$

$$p_{об1} = 130,0 \cdot 0,15 = 19,5 \text{ (тыс. руб.)};$$

$$p_{об2} = 50,0 \cdot 0,15 = 7,5 \text{ (тыс. руб.)}.$$

Стоимость электроэнергии (в первом приближении) принимается равнозначной, так как по-новому и старому вариантам электроэнергия затрачивается ориентировочно в равных долях и существенной роли в расчёте экономического эффекта не играет, в таком случае:

$$I_1 = I'_1 = p_{c1} + p_{об1} = 36,8 + 19,5 = 56,3 \text{ (тыс. руб.)};$$

$$I_2 = I'_2 = p_{c2} + p_{об2} = 4,1 + 7,5 = 11,6 \text{ (тыс. руб.)}.$$

$$p + E_n - \text{коэффициент реновации, принимается } 0,63 \text{ [51]}.$$

На основании вышеизложенного определён экономический эффект в сфере эксплуатации по зависимости (5.5)

$$\mathfrak{E}_9 = \frac{(56,3 - 11,6) - 0,15(115,2 - 9,0)}{0,63} = 45,66 \text{ (тыс. руб.)}.$$

Экономический эффект от досрочного ввода рассчитывается по зависимости:

$$\mathfrak{E}_\phi = E_n \Phi(t_1 - t_2), \quad (5.6)$$

где $t_1 = 1,2$; $t_2 = 0,1$ – сроки строительства;

E_n – коэффициент затрат по основным фондам (0,15%);

Φ – затраты по основным фондам.

$$\mathcal{E}_\phi = 0,15 \cdot 100 (1,2 - 0,1) = 16,5 \text{ (тыс. руб.)}.$$

Суммарный годовой экономический эффект в сфере строительства, эксплуатации и досрочного ввода, рассчитанный по зависимости (5.2) составляет 624,75 тыс. руб.

Проведённый расчёт годового эффекта на одну насосную станцию в размере 624,75 тыс. руб. выполнен без учёта экономического эффекта от увеличенной занимаемой полосы отчуждения при строительстве колодцев для вантузов.

Выводы по главе

1. Проведённый расчёт экономического эффекта системы наполнения напорных трубопроводов с помощью предлагаемого создания разряжения струйным аппаратом составил в сфере строительства и эксплуатации на рассмотренную станцию 624,75 тыс. руб.

2. Использование струйного аппарата при заполнении напорных трубопроводов позволит сократить срок строительства системы с 1,2 года до полутора месяцев.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ эксплуатируемых в промышленности схем удаления воздуха из всасывающих и напорных трубопроводов показывает, что существующие конструкции установок представлены в основном вакуум-насосами, при заполнении напорных трубопроводов устанавливаются дорогостоящие конструкции клапанов сброса воздуха – вантузов, монтируемые в специальных колодцах по трассе водоводов, сложные в устройстве и дорогие в эксплуатации. Существующие методы расчёта расхода воздуха в водовоздушных струйных аппаратах по расходу и напору воды основаны на рекомендациях Г.А. Аронса, Л.Д. Бермана и Е.Я. Соколова, предусматривают вовлечение воздушного потока в водяную напорную струю с отсутствием определения геометрических размеров и гидравлических параметров элементов струйной установки.

2. По результатам разработанной методики расчёта предложен порядок вычисления основных гидравлических параметров и геометрических размеров струйной системы удаления воздуха из напорных трубопроводов при их первоначальном заполнении, позволяющий сократить сроки укладки трубопроводов, уменьшить площадь отчуждения строительной трассы, устранить затраты на приобретение, монтаж и эксплуатацию дорогостоящих клапанов сброса воздуха и в конечном итоге исключить прекращения подачи воды в оросительную сеть. По исходным данным, параметрам центробежного насоса Д1600-90, весовому коэффициенту эжекции струйного аппарата $\alpha_o = 1,0$, величине вакуума в смесителе – 4 м, коэффициентам гидравлических сопротивлений сопла $\zeta_o = 0,10$, диффузора $\zeta_d = 0,25$, камеры смешения $\zeta_c = 0,3$, определены гидравлические параметры, фактические и относительные диаметры камеры смешения, геометрические размеры системы удаления воздуха – площади выходного отверстия сопла $\omega_o = 0,0091 \text{ м}^2$, диаметра камеры смешения $D_{\text{ц}} = 112,6$ ($\bar{D}_{\text{ц}} = 1,0$), наружного диаметра кольцевого сопла $d'_o = 101,34$ ($\bar{d}'_o = 0,9$), длины камеры смешения $L_{\text{ц}} = 215,2$ мм, расстояние между обрезом сопла и началом камеры смешения $Z = 202,68$, диаметры напорных и всасывающих трубопроводов по допустимым скоростям (для

всасывающих 1,2 м/с, и напорных 2–2,5 м/с).

3. На основе экспериментальных исследований подтверждается доказанное теоретическим обоснованием максимальное отличие величины вакуума в заполняемом напорном трубопроводе на расстоянии 1350 м от вакуума в струйном аппарате 12,1 % (-2,41 м, против -2,81 м). По приведённым зависимостям, экспериментально полученным с использованием теории планирования эксперимента, установлено влияние максимально возможных напоров центробежного насосного оборудования 120 м на степень разряжения в трубопроводе оказывающие в равной степени как на напор насосной станции первого подъёма H'_1 , так и напор перед струйным аппаратом H'_2 (-6,8 м ÷ -7,5 м). Установлено, что для наибольшей вероятности возникновения отрицательного давления в напорном трубопроводе необходима величина напора перед струйным аппаратом такой величины, при которой значение кинетической энергии $V_c^2/2g$ уменьшает потенциальную $p_c/g\rho_o$ до максимального отрицательного значения (-6 ÷ -8 м).

4. Разработанный технологический процесс создания условий для удаления воздуха струйными аппаратами в напорных трубопроводах позволит:

- усовершенствовать и ускорить процесс управления трубопроводным оборудованием и контрольно-измерительными приборами при пуске, эксплуатации и остановке гидромеханического оборудования;
- повысить, в случае необходимости, кавитационный запас и допустимую вакуумметрическую высоту всасывания при критических гидрологических колебаниях в водоисточнике;
- обосновать возможность безаварийной эксплуатации трубопроводной сети и сооружений по трассе магистральных водоводов.

5. Проведённый расчёт экономического эффекта наполнения напорных трубопроводов перед пуском гидромеханического оборудования с помощью рассмотренного в работе создания разряжения струйным аппаратом в сфере строительства и эксплуатации на одну насосную станцию составил 624,75 тысяч рублей, выполнен без учёта экономического эффекта от увеличенной

занимаемой полосы отчуждения при строительстве колодцев для вантузов.

Рекомендации производству

При монтаже струйного аппарата необходимо учесть возможную создаваемую величину вакуума в струйном аппарате (камере смешения) – 9 м, апробированную на длине напорного трубопровода до 3000 м, при дальнейшем увеличении длины трубопровода следует иметь в виду, что распространение вакуума, достаточного для заполнения трубопровода, может изменяться из-за влияния потерь напора, коэффициент которых, учитывая сложность проведения исследований, не получен.

При монтаже установки для удаления воздуха необходимо учитывать необходимость рабочего напора для струйного аппарата не менее 120 м (возможный максимальный напор одноколёсных центробежных насосов).

Перспективы дальнейшей разработки темы

При дальнейшей разработке темы необходимо предусмотреть исследования с заполнением трубопровода с горизонтальной длиной до 20000 м, что соответствует максимальному напору одноколёсного центробежного насоса 110-120 м. При наличии высоты подъёма по профилю трассы, длина напорного трубопровода для исследований уменьшается на соответствующую величину разницы отметок водоисточника и точки отбора расхода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аронс, Г.А. Теплоиспользующие аппараты / Г.А. Аронс // 2-е изд., перер. и доп. Утв. ГУУЗ НКЭС в качестве учеб. пособия для энергет. вузов. - Ленинград : Госэнергоиздат, 1941. - 368 с.
2. Абдразаков, Ф.К. Всасывающий раструб, как элемент трубопровода мелиоративной насосной станции Приволжской оросительной системы Саратовской области / Ф.К. Абдразаков, Д.В. Логашов, А.А. Глущенко // Современные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения: Материалы XI национальной конференции с международным участием. - Саратов: ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. 2021. - С.105-108.
3. Адлер, Ю.П. Введение в планирование эксперимента / Ю.П. Адлер // Москва : Металлургия, 1969. – 159 с.
4. Али, М.С. Анализ нестационарных процессов при нештатных режимах работы насосных станций. / М.С. Али, Д.С. Бегляров // Журнал «Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В.П. Горячкина». №2, 2016. - С. 35-40.
5. Абдразаков, Ф.К. Обследование гидротехнических сооружений Ахматово-Лавровского водохранилища Краснокутского муниципального района Саратовской области при оценке их безопасности / Ф.К. Абдразаков, О.В. Михеева // Аграрный научный журнал. № 7, 2021. – С.74-78.
6. Али, М.С. Переходные процессы в двухступенчатом каскаде насосных станций с уравнительным резервуаром. / М.С. Али, Д.С. Бегляров // Журнал «Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение». № 12, 2016. – С. 4-6.
7. Абдразаков, Ф.К. Установка всасывающего трубопровода с сороудерживающей решеткой с целью предупреждения кавитации на насосном оборудовании электрифицированной мелиоративной насосной станции Приволжской оросительной системы / Ф.К. Абдразаков, Д.В. Логашов, А.А. Глущенко // Основы рационального природопользования.

Материалы VII Национальной конференции с международным участием. Саратов 2021. - С. 4-8.

8. Абдразаков, Ф.К. Анализ основания мелиоративной плотины при работе в напорно-переменном режиме / Ф.К. Абдразаков, В.Г. Дегтярев, Н.В. Коженко // Аграрный научный журнал. № 8, 2021. – С.82-86.

9. Абдразаков, Ф.К. Исследование влияния выбранных методов расчета на теоретическую расчетную пропускную способность потока / Ф.К. Абдразаков, О.В. Михеева, Ф.В. Серебрянников // Аграрный научный журнал. № 11, 2020. – С.102-105.

10. А.с. 1620693 СССР. Струйный насос МПК F04F 5/10. /С.А. Тарасьянц, А.Г. Чаркин. – заявл.12.01.1989; опубл. 15.01.91; Бюл. – № 2.

11. А.с. 1707278 СССР. Струйный насос / МПК F04F 5/02 /С.А. Тарасьянц, Т.А. Могушков. – заявл. 05.02.1990; опубл. 23.01.92. – Бюл. № 3.

12. А.с. 165109 СССР, МПК B65G 53/30. Кольцевой гидроэлеватор/ Мускевич Г.Е. – заявл. 13.09.63; опубл. 04.09.64., Бюл. № 17.

13. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. – 2-е изд. перераб. и доп. – М. : Недра, 1982. – 224 с.

14. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта, С.С. Руднев, Б.Б. Некрасов и др. – 2-е изд., перераб. –М. : ЦНИИТЭСТРОМ, 1968. – 423 с.

15. Бегляров, Д.С. Исследования переходных процессов в напорных коммуникациях насосных станций с осевыми насосами при пуске агрегатов / Д.С. Бегляров, М.С. Али // Природообустройство. – 2015. – № 3.– С.74-78.

16. Бегляров, Д.С. Расчётно-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. 5

17. Бегляров, Д.С. Методика расчёта переходных процессов с учётом клапанов для пуска и заземления воздуха, и длины зоны разрыва

сплошности потока / Д.С. Бегляров, И.Ю. Сахаров // Природообустройство. – 2013. – № 2. – С.76-80.

18. Бегляров, Д.С. Расчётно-теоретические исследования автоматического пуска основного насосного агрегата на насосной станции Комсомольской оросительной системы / Д.С. Бегляров, Д.Ш. Апресян. // Природообустройство. – 2014. – № 3. – С. 69-73.

19. Бегляров, Д.С. Анализ и учёт особенностей структуры напорных систем водоснабжения при расчете переходных процессов / Д.С. Бегляров, Э.Е. Назаркин, А.М. Бакштанин // Природообустройство. – 2019. – № 4. – С. 91-94.

20. Бегляров, Д.С. Расчётно-теоретические исследования переходных процессов в закрытой оросительной системе / Д.С. Бегляров, С.Ю. Переверзев // Природообустройство. – 2012. – № 4. – С. 52-57.

21. 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.

22. Вишневский, К.П. Моделирование переходных процессов в сложных напорных системах с насосными станциями : автореферат дис. ... доктора технических наук : 05.14.10 / Ленингр. политехн. ин-т им. М. И. Калинина. - Ленинград, 1988. - 37 с.

23. Вишневский, К.П. Проектирование насосных станций закрытых оросительных систем : Справочник / К. П. Вишневский, А.В. Подласов. - Москва : Агропромиздат, 1990. - 93 с

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

25. Вишневский, К.П. Расчёт гидравлического удара при установке в промежуточных точках водовода обратных клапанов с обводными линиями /

К. П. Вишневский // Организация и методика строительного проектирования : реферативная информация; - Серия X. – Вып. 14. – М., 1973. – С. 200-225.

26. Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский // Москва : Статистика, 1974. - 192 с.

27. Демьянова, Л.А. Расчёт характеристики высоконапорного струйного аппарата, работающего в оптимальном режиме / Л.А. Демьянова // Нефтепромысловое дело. 2001. №2. С. 20-29

28. Даулетбаев, Б.У. Гидроэлеваторы с циклонными приёмными камерами / Б.У. Даулетбаев // Механика и технологии. 2015. №2. С. 47-51.

29. Дубенок, Н.Н., Шумакова К.Б. Гидротехнические сельскохозяйственные мелиорации : учебник / под ред. Н.Н. Дубенка. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Проспект, 2024. – 336 с.

30. Головин, Н.И. Линейная алгебра и некоторые её приложения / Н.И. Головин. – М. : Наука, 1972. – 98с.

31. Грабовский, А.М. Экспериментальное определение коэффициента расхода сопла кольцевого гидроэлеватора / А.М. Грабовский, К.Ф. Иванов// Строительство и архитектура. – 1972. –№ 9.– С. 15.

32. Ефимов, А.В. Квадратичные формы и матрицы / А.В. Ефимов – М. : Наука, 1972. – 60 с.

33. Есин, А.И. Исследование процесса обрастания напорных трубопроводов оросительных систем / А.И. Есин, Т.Н. Сауткина // Аграрный научный журнал. – 2013. – № 1. – С. 45-48.

34. Есин, А.И. Методы обследования трубопроводов / А.И. Есин, Т.Н. Сауткина // Вестник ТюмГАСУ. – 2015. – № 1. – С. 49-52.

35. 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.

36. Есин, А.И. Эксплуатационная оценка состояния напорных трубопроводов / А.И. Есин, Т.Н. Сауткина // Научное обозрение. – 2016. – № 5. – С. 71-75.

37. Ефимочкин, Г.И. Влияние конструкции сопла на работу водоструйного эжектора / Г.И. Ефимочкин // Электрические станции. – 1964. – № 5. – С. 45.

38. Заключительный отчёт ГУ «ЮжНИИГиМ» инв.№ 02.200.108706, № гос. Регистрации 01.200.117.513.

39. Зингер, Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем / Н.М. Зингер. - Москва : Энергия, 1976. - 335 с.

40. Закрытые оросительные системы : методическое указание по оценке надёжности / Всесоюз. проектно-изыскательское и научно-исследовательское объединение. «Союзводпроект». – Москва, 1980. – 25 с.

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

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

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

44. Защита трубопроводов оросительных систем от гидравлических ударов : обзорная информация / В.Д. Килимник, А.Е. Костомаров, Н.А. Палишкин – М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1983. – 53 с.

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

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

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

48. Кирилловский, Ю.Л. Рабочий процесс и основы расчёта струйных насосов / Ю.Л. Кирилловский, Л.Г. Подвидз // Труды ВИГМ. Исследования гидромашин, 1960. Вып.26 – С.96-135.

49. Кирилловский, Ю.Л. Аксиально-поршневые гидромашинны : Учеб. пособие по курсу «Ротор. Гидромашинны» / Ю.Л. Кирилловский, Б.П. Борисов; Под ред. Прокофьева В. Н. Ч. 2. - Москва : МВТУ, 1982. - 36 с.

50. Лямаев, Б.Ф. Расчёт и подбор струйных аппаратов для систем водоснабжения / Б. Ф. Лямаев ; Высш. воен. инж.-техн. Краснознам. училище. - Ленинград, 1969. - 70 с.

51. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов. – М., 2002. – 80 с.

52. Мостков, М.А. Гидравлика : учебник / М.А. Мостков. – М. : Трасжелдориздат, 1958. – 347 с.

53. Мостков, М.А. Расчёты гидравлического удара : учеб. пособие / М.А. Мостков, А.А. Башкиров. – М. : Энергоиздат, 1952. – 200 с.

54. Мускевич, Г.Е. Исследование рабочих органов мелиоративного снаряда : отчёт о НИР № ГР 76084595, инв. № Б 539401 / Г.Е. Мускевич, С.А. Тарасьянц ; Новочерк. инж.-мелиор ин-т. – Новочеркасск 1975. – 58 с.

55. Мускевич, Г.Е. Экспериментальное определение оптимальных геометрических размеров и параметров эжектирования кольцевого гидроземлесоса / Г.Е. Мускевич, А.М. Питерский, С.А. Тарасьянц // Тр. НИМИ. – Новочеркасск, 1976. – Т. XVII, вып. 9 – С. 42.

56. Мускевич, Г.Е. Гидравлические исследования и расчёт водоструйных аппаратов (гидроэлеваторов) : диссертация ... кандидата технических наук : 05.00.00 / Г.Е. Мускевич. - Ростов – на - Дону, 1970. – 242 с.

57. Мускевич, Г.Е. и др. Натурные испытания насосно-эжекторных агрегатов Средне-Манычской плавучей эжекторной насосной станции : отчёт о НИР / НИМИ; рук. Г.Е. Мускевич, НИМИ – Новочеркасск, 1977. – 74 с.

58. Мустафин, Х.Ш. Расчёт эжектора на воде и гидросмеси / Х.Ш. Мустафин // Сб. тр. ВНИИНеруд. Вып.24. – Тольятти, 1968. – С. 124.

59. Мускевич, Г.Е. Кольцевой гидроэлеватор: А.с. 165109 СССР, МКИ / Г. Е. Мускевич. – опубл. 04.09.64. Бюл. № 17.

60. Мошнин, Л.Ф. О пуске насосов на открытую задвижку и установка клапанов на напорной линии / Л.Ф. Мошнин // Водоснабжение и санитарная техника. – 1959.

61. 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.

62. Назаров, Н.Т. О гидравлических потерях в эжекторе / Н. Т. Назаров // Сб. тр. / ВНИИНеруд. – Тольятти, 1965. Вып. 4. – С. 230.

63. Назаров, Н.Т. О методике расчета струйных аппаратов. / Н. Т. Назаров // Сб. тр. / ВНИИНеруд. – Тольятти, 1965. Вып. 4. – С. 217.

64. Налимов, В.В. Статистические формы и матрицы / В.В. Налимов, Н.А. Чернова –М. : Наука, 1972. – 54 с.

65. Оборудование для гидромеханизации : Альбом-справочник / Гос. ком. по пром-сти строит. материалов при Госстрое СССР. Гос. проектный ин-т «Проектгидромеханизация». – Москва : ЦБТИ, 1965. – Т. 2. Землесосные снаряды. – 108 с.

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

67. Пат №2733781 РФ. Способ удаления воздуха из напорных трубопроводов водопроводных насосных станций первого подъёма / С.А. Тарасьянц, Д.С. Цыпленков; заявитель и патентообладатель: НИМИ Донской ГАУ. – №2019111841; заявл. 18.04.2019; опубл. 06.10.2020. – Бюл. №28

68. Пат №193337 РФ. Струйный насос для удаления воздуха из напорных трубопроводов / Д.С. Цыпленков, Ю.С. Уржумова, Д.С. Ефимов,

С.А. Тарасьянц; заявитель и патентообладатель: НИМИ «Донской ГАУ». – №2019111840; заявл. 18.04.2019; опубл. 24.10.2019. – Бюл. №30

69. Пат №160830 Российская Федерация. Струйная напорно-вакуумная установка для промывки всасывающих парубков струйных насосов и заиленных трубопроводов / М.С. Беспалов, Ю.В. Бандюков, Н.А. Иванова, С.А. Тарасьянц; заявитель и патентообладатель: НИМИ «Донской ГАУ». № 2015129927/06; заявл. 20.07.15. опубл. 10.04.2016. - Бюл. № 10.

70. Пат №168656 Российская Федерация. Струйный насос для очистки заиленных колодцев и канализационных отстойников / П.В. Пашков, Ю.С. Уржумова, Д.С. Ефимов, С.А. Тарасьянц; заявитель и патентообладатель: НИМИ «Донской ГАУ». № 2015155500; заявл. 23.12.15. опубл. 14.02.2017 Бюл. № 5.

71. Пат № 182521 Российская Федерация. Струйный насос для увеличения глубины разработки иловых отложений / Ю.С. Уржумова, П.В. Пашков, В.Н. Ширяев, С.А. Тарасьянц; заявитель и патентообладатель: НИМИ «Донской ГАУ». № 2018107116; заявл. 26.02.18. опубл. 22.08.2018 Бюл. № 24.

72. Пат № 193355 Российская Федерация. Струйный четырёхкомпонентный насос-смеситель / В.А. Рудаков, К.А. Дегтярева, Ю.С. Уржумова, С.А. Тарасьянц; заявитель и патентообладатель: НИМИ «Донской ГАУ». № 2019111839; заявл. 18.04.19. опубл. 25.10.2019 Бюл. № 30.

73. Панов В.Б. Технологический процесс эффективности эксплуатации насосного оборудования с использованием струйного аппарата на всасывающем трубопроводе / В.Б. Панов, Д.С. Цыпленков, В.Н. Ширяев, С.А. Тарасьянц // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса (ВолГАУ). Выпуск №3 (67). 2022. С. 612-621

74. Панов В.Б. Порядок проведения анализа и мероприятия по введению центробежного насосного оборудования в оптимальный эксплуатационный режим / В.Б. Панов, Д.С. Цыпленков, В.Н. Ширяев, С.А.

Тарасьянц // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса (ВолГАУ). Выпуск №4 (68). 2022. С. 587-596

75. Пашков П.В. Повышение надежности эксплуатации насосных станций оросительных систем на основе совершенствования конструктивно – технологических параметров насосного оборудования : диссертациякандидата технических наук : 06.01.02 / П.В. Пашков. - Новочеркасск, 2019. - 146 с.

76. Пат № 181423 Российская Федерация. 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: НИМИ «Донской ГАУ». №2018107113; заявл. 26.02.18, опубл. 13.07.2018. – Бюл. № 20.

77. Прейскурант трубопроводной арматуры Уральского арматурного завода 1999-2021 [Электронный ресурс] // ООО «УАЗ». – URL: [https://uaz74.ru /product/zapornaya-armatura/](https://uaz74.ru/product/zapornaya-armatura/) (дата обращения: 08.04.2025).

78. Подвидз, Л. Г. Расчёт струйных насосов и установок / Л.Г. Подвидз, Ю.Л. Кирилловский // Труды / ВНИИГидромаш, 1968. – Вып. 38. – 44-96 с.

79. Подвидз, Л.Г. Расчёт оптимального струйного насоса для работы на разнородных и однородных жидкостях / Л.Г. Подвидз, Ю.Л. Кирилловский // Труды / ВИГМ, 1963. – Вып. 32. – 230 с.

80. Рудаков, В.А. Расчёт критических скоростей подсасываемого потока струйных насосах / В.А Рудаков, Р.Р. Мазанов, С.А. Тарасьянц // Современные технологии и достижения науки в АПК: сб. тр. Всероссийской науч.-практ. конф., г. Махачкала, 22-23 ноября 2018 / ФГБОУ ВО Дагестанский ГАУ. Махачкала, 2018. С. 235-238.

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

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

83. Ржаницын, Н.А. Водоструйные насосы / Н.А. Ржаницын. – М. : Энергоиздат, 1980. – 176 с.

84. Рычагов, В.В. Насосы и насосные станции / В.В. Рычагов, М.М. Флоринский. –М. : Колос, 1975. – 200 с.

85. Сборник сметных норм на ремонт мелиоративных сооружений: (СНР – 84): утв. Министерством мелиорации и вод. хозяйства СССР 14.06.82 для применения с 01.01.1982. – М. : в/о «Союзводпроект», 1982. – С. 96.

86. Система контроля технического состояния и безопасной эксплуатации насосных станций мелиоративного назначения: отчёт о НИР : № ГР.02.200.108706 Инв. № 01.200.117513 / С.А. Тарасьянц [и др.] ; ВНИИПМ. – Новочеркасск, 2001. – 45 с.

87. Соколов, Е.Я. Струйные аппараты / Е. Я. Соколов, Н. М. Зингер. - 3-е изд., перераб. - Москва : Энергоатомиздат, 1989. - 350 с.

88. Соколовский, С.В. Повышение давления в трубопроводе от гидравлического удара при нарушении сплошности движения / С.В. Соколовский, С.И. Мищенко // Гидравлика и гидротехника : сб. науч. тр. Москва, 1974. - Вып. 18. – 327 с.

89. Соколов Е.Я. Теоретическое и экспериментальное исследование водоструйных насосов и методика их расчёта / Е.Я. Соколов // Москва, Известия ВТН, 1950. - №3, с.22-28.

90. Справочник по гидравлическим расчётам / Под ред. П.Г. Киселева. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1972. – 352 с.

91. Сборник работ по исследованию сверхзвуковых газовых эжекторов. ЦАГИ. Бюро научной информации, 1961 -160 с.

92. Струйные аппараты в гидромеханическом оборудовании, системах смешения удобрений с водой, гидромеханизации: монография / Ю.С.

Уржумова, С.А. Тарасьянц; Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ. – Новочеркасск: Лик, 2022. – 243 с.

93. Сазонов, Ю.А. Конструирование струйных аппаратов: учебное пособие / Ю.А. Сазонов – М.: Издательский центр РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2016. – 69 с.

94. Тарасьянц, С.А. Подбор центробежных насосов под трубопроводную сеть / С.А. Тарасьянц, Д.В. Уржумов, А.С. Тарасьянц // Экологические проблемы природопользования в мелиоративном земледелии : материалы междунар. науч.-практ. конф., 2-3 февр. 2006г. г. Новочеркасск: в 2 т. – Т. 1 / Новочерк. гос. мелиор. акад. – Новочеркасск: Темп, 2006. – Т. 1. – С. 201-203.

95. Тарасьянц, С.А. Сравнительные исследования энергетической эффективности кольцевого струйного насоса с двухповерхностной рабочей струёй / С.А. Тарасьянц, В.В. Александров // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2009. – № 7. – С. 39-41.

96. 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.

97. Тарасьянц, С.А. Проектирование насосных станций систем орошения животноводческими стоками / С.А. Тарасьянц. – Новочеркасск : НИМИ, 1994. – 17 с.

98. Тарасьянц, С.А. Коэффициент гидравлического сопротивления смесителя кольцевого гидроэлеватора с двухповерхностной рабочей струёй / С.А. Тарасьянц // Организация и технология гидромелиоративных работ : сб. ст. / Новочерк. инж.-мелиор. ин-т. – Новочеркасск : НИМИ, 1976. – С. 114-118.

99. Тарасьянц, С.А. Насосы для транспортировки жидкостей с твёрдыми и волокнистыми включениями / С.А. Тарасьянц. – Новочеркасск, 1993. – С. 123.

100. Тарасьянц, С.А. Сравнительные исследования энергетической эффективности кольцевого струйного насоса с двухповерхностной рабочей струёй / С.А. Тарасьянц, В.В. Александров // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2009. – № 7. – С. 39-41.

101. Уржумова, Ю.С. Экспериментальное определение величины снижения энергозатрат мелиоративных насосных станций вследствие использования остаточной энергии в трубопроводной сети / Ю.С. Уржумова, Д.С. Цыпленков, В.Б. Панов, С.А. Тарасьянц // Мелиорация и гидротехника (РосНИИПМ). 2022. Т. 12, №4. С.136-153.

102. Фридман, Б.Э. Гидроэлеваторы / Б.Э. Фридман. – М. : Машгиз, 1990. – 142 с.

103. Цегельский, В.Г. Струйные аппараты / В.Г. Цегельский. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 573с.

104. Цыпленков, Д.С. Влияние потенциальной энергии всасывающих трубопроводов насосного оборудования на отметку установки оси насоса и потребляемую мощность приводных двигателей / Д.С. Цыпленков, И.Н. Винокурова, Р.Р. Мазанов, Ю.С. Уржумова // Мелиорация и гидротехника (РосНИИПМ). 2025. Т. 15, №1. С.216-231.

105. Царевский, Я.А. Конструкции струйных аппаратов, используемых в гидромеханизации / Я.А. Царевский, Д.С. Цыпленков, Р.Р. Мазанов, С.А. Тарасьянц // Наука и образование в инновационном развитии АПК / Сб. научн. тр. Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Махачкала 29.04.2020 г. С.115-120.

106. Цыпленков, Д.С. Способы очистки всасывающих и напорных трубопроводов насосных станций систем мелиорации и водоснабжения / Д.С. Цыпленков, В.А. Бараниченко, Ю.С. Уржумова // Мелиорация как драйвер

модернизации АПК в условиях изменения климата: Материалы IV Междунар. науч.-практ. интернет конф. 22-24 апреля 2024 г. / Новочерк. инж.-мелиор. ин-т Донской ГАУ. – Новочеркасск: Лик, 2024. – С. 111-115.

107. Цегельский, В.Г. Экспериментальное исследование влияния длины конической камеры смешения и горловины диффузора на характеристики сверхзвукового газового эжектора / В.Г. Цегельский, М.В. Акимов, Т.Д. Сафаргалиев // Известия высших учебных заведений. Машиностроение 2013. - №4. С. 30-44.

108. Цыпленков, Д.С. Технологический процесс производства работ по очистке резервуара чистой воды ОАО «Анапа Водоканал» / Д.С. Цыпленков, Я.А. Царевский, Р.Р. Мазанов, С.А. Тарасьянц // Наука и образование в инновационном развитии АПК / Сб. научн. тр. Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Махачкала 29.04.2020 г. С. 141-147.

109. Царевский, Я.А. Гидравлический расчёт установки для удаления иловых отложений первичных отстойников канализационных очистных сооружений / Царевский Я.А., Цыпленков Д.С., Ширяев В.Н., Тарасьянц С.А. // ВЕСТНИК Курганской ГСХА. Выпуск №4 (32). 2019. С. 77-82.

110. Царевский, А.М. Гидромеханизация мелиоративных работ / А.М.Царевский. –М. : Россельхозиздат, 1985. – 130 с.

111. 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.

112. Чебаевский, В.Ф. Проектирование насосных станций и испытание насосных установок / В.Ф. Чебаевский, К.П. Вишневский, В.В. Кондратьев, Н.Н. Накладов. – М. : Колос, 1982. – 259 с.

113. Юфин, А.П. Гидромеханизация / А.П. Юфин – М. : Стройиздат, 1974. – 180 с.
114. Чемидов, П.П. Переходные процессы в напорных трубопроводах с воздушно-гидравлическими колпаками: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.04.19 / П.П. Чемидов – Москва, 1986. – 19 с.
115. Abdrazakov, F.K. Logashov, D.V. Rukavishnikov, A.A. Improving the efficiency of operation of electrified reclamation pumping stations (Повышение эффективности работы электрифицированных мелиоративных насосных станций) // International Scientific and Practical Conference “VAVILOV READINGS-2021” (VVRD 2021) dedicated to the 101st anniversary of the discovery of the law of homological series and the 134th anniversary of the birth of N. I. Vavilov. – 2022. – DOI: 10.1051/bioconf/20224303025.
116. 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.
117. 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.
118. 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.
119. 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 Polono-

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

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

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

122. 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

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Рисунок 1.1 – Конструктивная схема удаления воздуха из трубопроводов струйным аппаратом, с. 13.

Рисунок 1.2 – Передвижная насосная станция, с. 14.

Рисунок 1.3 – Напорно-вакуумная установка, с. 15.

Рисунок 1.4 – Схема для создания вакуума во всасывающих трубопроводах насосных агрегатов, с. 15.

Рисунок 1.5 – Монтажная схема установки струйного вакуумного аппарата, с. 16.

Рисунок 1.6 – Трубопровод насосной станции ООО «Калалинское» Красногвардейского района Ставропольского края, с.17.

Рисунок 1.7 – Струйный аппарат для очистки колодцев, с. 18.

Рисунок 1.8 – Схема аппарата для разработки ила, с. 18.

Рисунок 1.9 – Технологическая схема подачи удобрений на опытные участки с использованием струйного четырёхкомпонентного насоса смесителя, с. 19.

Рисунок 1.10 – Струйный кольцевой четырёхкомпонентный аппарат, с. 20.

Рисунок 1.11 – Вакуум-система на насосных станциях, с. 21.

Рисунок 1.12 – Схема заполнения насосов перед пуском, с. 22.

Рисунок 1.13 – Схема заполнения с резервуаром, с. 23.

Рисунок 1.14 – Схема установки насоса 1Д200-95 и струйного аппарата, с. 24.

Рисунок 1.15 – Схема струйного аппарата установленного в центробежном насосе, с. 25.

Рисунок 2.1 – Схема кольцевого струйного аппарата, с. 31.

Рисунок 2.2 – Напорно-расходная характеристика центробежного насоса Д1600-90 ($D_{p.k} = 540$ мм, $n = 1450$ мин⁻¹), с. 33.

Рисунок 2.3 – Зависимость относительного напора в распределительном трубопроводе $\bar{H}_r$ от коэффициента эжекции струйного аппарата α_o , с. 39.

Рисунок 2.4 – Струйный аппарат с вытянутой эпюрой скорости и удлиненной камерой смешения, с. 40.

Рисунок 2.5 – Кавитационные характеристики кольцевого струйного аппарата для напора H перед соплом 90,7; 82,6; 70,0, с. 42.

Рисунок 2.6 – Схема ввода рабочего потока в камеру смешения в струйном аппарате, с. 44.

Рисунок 2.7 – Схема для определения длины диффузора струйного двухповерхностного кольцевого аппарата, с. 45.

Рисунок 2.8 – Схема для определения длины камеры смешения аппаратов с центральной струей, с. 46.

Рисунок 3.1 – Насосная станция первого подъема с водозабором из р. Кубань Темрюкского района Краснодарского края. Общий вид, с. 53.

Рисунок 3.2 – Внутренний вид насосной станции с насосным агрегатом Д1600-90. Общий вид, с. 54.

Рисунок 3.3 – Продольный профиль напорного трубопровода с местонахождением установленного оборудования, с. 55.

Рисунок 3.4 – Схема удаления воздуха из напорного трубопровода насосной станции 1-го подъема, с. 56.

Рисунок 3.5 – Технологическая схема установки струйного аппарата для удаления воздуха из напорных трубопроводов, с. 58.

Рисунок 3.6 – Установка струйного аппарата в напорном трубопроводе. Общий вид, с. 58.

Рисунок 3.7 – Обвязка центробежного и бустерного насосов НС-1. Общий вид, с. 59.

Рисунок 3.8 – Манометр для определения напора рабочего потока перед струйным аппаратом, с. 60.

Рисунок 3.9 – Место установки расходомера и вакуумметра (манометра) в колодце вантуза (расстояние от места установки струйного аппарата 1350 м), с. 61.

Рисунок 3.10 – Схема установки оборудования по трассе напорного трубопровода НС-1, с. 64.

Рисунок 3.11 – Степень влияния факторов $H_1(X_1)$, $H_2(X_2)$ и $L_T(X_3)$ на критерий B_T , с. 66.

Рисунок 3.12 – Зависимость величины вакуума в трубопроводе B'_T от напора перед струйным аппаратом H'_1 , с. 70.

Рисунок 3.13 – Зависимость величины вакуума в трубопроводе B'_T от напора насосной станции первого подъёма H'_2 , с. 70.

Рисунок 4.1 – Напорный трубопровод с байпасом, с. 72.

Рисунок 4.2 – Схема установки оборудования на насосных станциях первого и второго подъёма для целей орошения из р. Кубань Темрюкского района Краснодарского края, с. 74.

Рисунок 4.3 – Напорно-расходная характеристика бустерного насоса К 90/85, с. 78.

Рисунок 4.4 – Насосная станция с положительной высотой всасывания, с. 79.

Рисунок 4.5 – Схема водозабора с линией рециркуляции и струйным аппаратом на всасывающем трубопроводе, с. 80.

Рисунок 4.6 – Струйный аппарат с высокими энергетическими характеристиками, с. 81.

Рисунок 5.1 – Колодец с задвижкой и клапаном сброса воздуха – вантузом на трассе напорного трубопровода насосной станции первого подъёма Темрюкского района Краснодарского края. Общий вид, с. 85.

Рисунок 5.2 – Схема удаления воздуха из напорного трубопровода насосной станции первого подъёма (упрощённый вариант), с. 86.

Приложение А

Патент на изобретение № 2733781



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19)

RU

(11)

2 733 781 (13) C1

(51) МПК

F16L 55/07 (2006.01)

F04F 5/54 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

F16L 55/07 (2020.01); F04F 5/54 (2020.01)

(21)(22) Заявка: 2019111841, 18.04.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.04.2019Дата регистрации:
06.10.2020

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 18.04.2019

(45) Опубликовано: 06.10.2020 Бюл. № 28

Адрес для переписки:

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

(72) Автор(ы):

Тарасьянц Сергей Андреевич (RU),
Цыпленков Дмитрий Степанович (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: SU 171534 A, 26.05.1965. RU
2010125870 A1, 27.12.2011. RU 165933 U1,
10.11.2016. KR 101056147 B1, 11.08.2011. US
20180128412 A1, 10.05.2018.

(54) СПОСОБ УДАЛЕНИЯ ВОЗДУХА ИЗ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ВОДОПРОВОДНЫХ НАСОСНЫХ СТАНЦИЙ ПЕРВОГО ПОДЪЕМА

(57) Реферат:

Способ относится к области водоснабжения и предназначен для удаления воздуха из напорных трубопроводов водопроводных насосных станций первого подъема. Способ осуществляют следующим образом: в заполняемом насосной станцией первого подъема напорном трубопроводе создают вакуум с

помощью струйного аппарата, установленного в обводном трубопроводе, врезанном в напорный трубопровод перед выходом воды в очистные сооружения, и питаемого от трубопровода линии рециркуляции с задвижкой насосной станции второго подъема. Технический результат - снижение энергопотребления. 1 ил.

RU 2 733 781 C 1

RU 2 733 781 C 1

Приложение Б
Патент на полезную модель № 19337

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 193337

**СТРУЙНЫЙ НАСОС ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВОЗДУХА ИЗ
НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

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

Авторы: **Цыпленков Дмитрий Степанович (RU), Уржумова
Юлия Сергеевна (RU), Ефимов Денис Сергеевич (RU),
Тарасьянц Сергей Андреевич (RU)**

Заявка № 2019111840

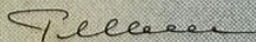
Приоритет полезной модели 18 апреля 2019 г.

Дата государственной регистрации в
Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 24 октября 2019 г.

Срок действия исключительного права
на полезную модель истекает 18 апреля 2029 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Исмаилов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11)
(51) МПК
F04F 5/00 (2006.01)

193 337⁽¹³⁾ U1

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F04F 5/00 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019111840, 18.04.2019
(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.04.2019
Дата регистрации:
24.10.2019
Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 18.04.2019
(45) Опубликовано: 24.10.2019 Бюл. № 30
Адрес для переписки:
346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул.
Пушкинская, 111, ФГБОУ ВО НИМИ Донской
ГАУ

(72) Автор(ы):
Цыпленков Дмитрий Степанович (RU),
Уржумова Юлия Сергеевна (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 160830 U1, 10.04.2016. RU 182521
U1, 22.08.2018. RU 168656 U1, 14.02.2017. US
1437006 A, 28.11.1922. US 3262571 A, 26.07.1966.

(54) СТРУЙНЫЙ НАСОС ДЛЯ УДАЛЕНИЯ ВОЗДУХА ИЗ НАПОРНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

(57) Реферат:
Струйный насос для удаления воздуха из
напорных трубопроводов может быть
использован в водоснабжении при заполнении

напорных трубопроводов насосных станций 1-го
подъема, при работающей насосной станции 2-го
подъема для подачи воды в рабочий трубопровод.

RU 193337 U1

RU 193337 U1

Приложение В

Грамота за серебряную медаль в конкурсе «Золотая осень 2019»



Приложение Г

**Благодарность за разработку инновационного научно-технологического
проекта в XXIV Всероссийской агропромышленной выставке
«Золотая осень 2022»**



Приложение Д

Грамота за участие в специализированной выставке «Агротехнология»



Приложение Е

Акт внедрения НИР. Заказчик «Кубаньводкомплекс»

УТВЕРЖДАЮ:

Директор НИМИ им. А.К. Кортунова –
филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ»

Т.В. Мельник

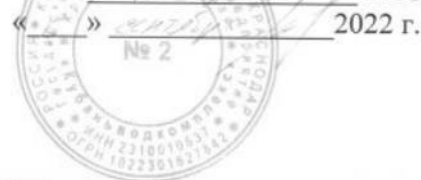
« 15 » сентября 2022 г.

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ГУП
«Кубаньводкомплекс»

ФИО

2022 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

1. Наименование организации и объекта, где внедрена разработка:

Государственное унитарное предприятие Краснодарского края «Кубаньводкомплекс» ремонтно-эксплуатационное управление. Насосная станция первого подъема на реке Казачий ерик.

2. Сроки внедрения 2021-2022 гг.

3. Наименование научной организации, проводившей научную разработку и опытное освоение внедряемого мероприятия:

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО Донской ГАУ

4. Краткая характеристика и новизна внедряемой разработки:

Разработан, изготовлен и внедрен в эксплуатацию опытный образец струйного аппарата для создания вакуума в напорном трубопроводе при первичном заполнении водой перед пуском насосной станции первого подъема на реке Казачий Ерик Темрюкского района Краснодарского края. С помощью внедрённой установки имеется возможность заполнять и поддерживать в наполненном состоянии напорные трубопроводы мелиоративных и водоснабженческих насосных станций как при первичных заполнениях в межсезонный период, так и при проведении ремонтных работ.

5. Основные показатели внедряемой разработки:

В результате внедрения метода создания вакуума струйным аппаратом в напорных трубопроводах систем орошения и водоснабжения отпадает необходимость использования клапанов сброса воздуха – вантузов, что значительно упрощает, при одновременном снижении затрат, эксплуатацию систем существующих насосных станций.

Разработчики: от НИМИ им. А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской ГАУ» руководитель НИР д-р техн. наук., проф. С.А. Тарасьянц, исполнители: канд. техн. наук, доцент Ю.С. Уржумова, аспирант Д.С. Цыпленков.

Руководитель НИР

С.А. Тарасьянц

Ответственные исполнители:

Ю.С. Уржумова

Д.С. Цыпленков

ГУП «Кубаньводкомплекс»

Ответственный за внедрение

Начальник участка

ФИО