

Цыпленков Дмитрий Степанович

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

4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика

Автореферат
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

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

Научный руководитель:	Уржумова Юлия Сергеевна, кандидат технических наук, доцент
Официальные оппоненты:	Абдразаков Фярид Кинжаевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры гидромелиорации, природообустройства и строительства в АПК ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова» Рогачёв Дмитрий Алексеевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела природоохранных и информационных технологий ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова»
Ведущая организация:	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина»

Защита состоится «25» ноября 2025 г. в 12.30 на заседании диссертационного совета 35.2.030.07, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, учебный корпус №28, аудитория 201, тел: 8 (499) 976-17-14.

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

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

Автореферат разослан «___»_____ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета 35.2.030.07

кандидат технических наук, доцент

Н.Б. Мартынова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. 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 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 исследований. 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 «Кубаньводкомплекс» 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 ГУП «Кубаньводкомплекс» Краснодарского края ремонтно-эксплуатационное управление. 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 получение результатов, изложенных в работе, заключается в анализе литературных данных, в обосновании направления исследований, проведении натуральных исследований и обработке

экспериментальных данных, формулирование 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, 4 работы – в журналах и материалах Всероссийских 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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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

В первой главе проведен анализ существующих струйных установок, используемых для удаления воздуха из трубопроводов, показаны схемы и описаны конструкции водовоздушных струйных аппаратов.

Кроме того, приведено описание существующих методов создания вакуума во всасывающих трубопроводах насосных станций (рисунки 1,2), рассмотрены работы по созданию высокого вакуума и увеличенной, по сравнению с центробежными насосами, всасывающей способности трубопроводных установок по созданию вакуума во всасывающих трубопроводах.

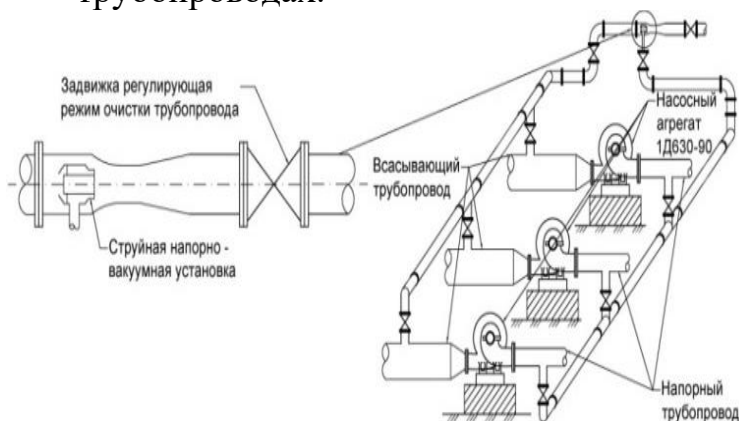


Рисунок 1 – Схема удаления воздуха из всасывающих трубопроводов насосных агрегатов



Рисунок 2 – Всасывающий трубопровод насосной станции ООО «Калалинское» Ставропольского края

Анализом установлено, что в качестве основной зависимости при расчётах жидкостно-газовых аппаратов (вакуумные струйные насосы) используется

уравнение изменения количества движения (теорема импульса сил).

Вторая глава посвящена теоретическому обоснованию заполнения всасывающих и напорных трубопроводов струйными аппаратами.

Для вывода теоретической зависимости и определения величины вакуума в сопле, камере смешения струйного аппарата рассматривается конструкция энергетически эффективного кольцевого двухповерхностного аппарата (рисунок 3) с повышенным КПД.

Методы расчёта водовоздушных струйных аппаратов, предложенные в литературе, представляют собой зависимости, позволяющие получить приближённые расчёты для создания вакуума в трубопроводах.

В теоретическое обоснование входят:

- рекомендации по определению полной энергии, величины отрицательного давления в корпусе струйного аппарата в зависимости от скоростного напора в сопле и камере смешения;

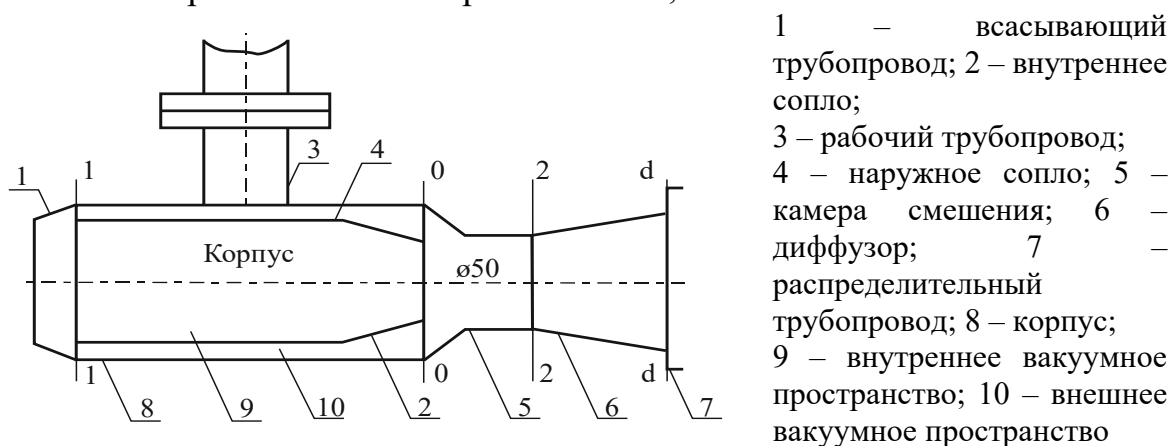


Рисунок 3 – Схема кольцевого двухповерхностного струйного аппарата с повышенными энергетическими характеристиками

- определение расхода подсасываемого потока и коэффициентов гидравлического сопротивления элементов водовоздушного струйного аппарата в зависимости от напора в напорном распределительном трубопроводе;

- определение оптимальных относительных геометрических размеров и гидравлических параметров водовоздушных аппаратов.

По принятой, для рассмотрения, конструкции предварительно рассмотрено определение полной энергии в сопле 4 и камере смешения 5 (см. рисунок 3).

Полная энергия в сопле $\mathcal{E}_c$ (относительно единицы веса) определяется как сумма потенциальной $\mathcal{E}_{н.с.} = p_c / g\rho_o$ и кинетической энергий $\mathcal{E}_{к.с.} = V_o^2 / 2g$ (V_o – скорость в сопле)

$$\mathcal{E}_c = \mathcal{E}_{н.с.} + \mathcal{E}_{к.с.} = \frac{p_c}{g\rho_o} + \frac{V_o^2}{2g} \quad (1)$$

При выходе потока из сопла в камеру смешения кинетическая энергия практически не меняется и находится на уровне потенциальной энергии в сопле:

$$\mathfrak{Z}_{к.с} = \mathfrak{Z}_{н.с} = \frac{p_c}{g\rho_o} = \frac{p_{к.с}}{g\rho_o} \quad (2)$$

Пример расчёта потенциальной и кинетической энергии в струйном аппарате при подаче рабочего потока центробежным насосом Д1600-90, приведён в таблице 1.

Таблица 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 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

Анализ таблицы 1 показывает, что при оптимальном напоре принятого для рассмотрения агрегата Д1600-90 величина отрицательного давления в сопле колеблется от -6,93 до -8,86 м.

На основании вышерассмотренных рекомендаций теоретически определён расход подсасываемого потока в зависимости от напора насоса нагнетателя (таблица 2).

Таблица 2 – Зависимость приведённого относительного напора струйного аппарата $\bar{H}_{г пр}$ от коэффициента эжекции α_o (относительно скоростного напора $V_o^2/2g$)

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

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 Q_1 изменяется соответственно от 0,0008 до 0,23 м³/с. Полученный объёмный расход воздуха может быть выражен через массовый на основании

уравнения Клайперона
$$G_o = \frac{p_u Q_1}{R_u T_p}, \quad (3)$$

где Q_1 – объёмный расход подсасываемого воздуха при температуре T_p ; R_u – универсальная газовая постоянная; $P_u = p_n - p_n$ (p_n – давление сухого воздуха в приёмной камере; p_n – давление насыщенного пара при температуре рабочей воды).

Для расчёта величин коэффициентов гидравлических сопротивлений элементов струйного аппарата принимаются, в основном, результаты собственных исследований.

К основным элементам струйного аппарата, оказывающим наибольшее влияние на энергетические параметры, относятся коэффициенты гидравлического сопротивления сопла ζ_o , камеры смешения ζ_c , диффузора ζ_d .

Выход рабочей кольцевой двухповерхностной струи в исследуемом аппарате в воздушный подсасываемый поток не меняет величину коэффициента гидравлического сопротивления сопла ζ_o , и принимается $0,1 \div 0,15$, для чисел Рейнольдса от $4 \cdot 10^4$ до $18 \cdot 10^5$.

Значение коэффициента гидравлического сопротивления для цилиндрической части камеры смешения ζ_c водовоздушного потока принимается по зависимостям (4, 5) и результатам экспериментальных исследований.

$$h_{w.c} = \lambda_c \frac{L_c}{D_c} \frac{V_c^2}{2g} \quad (4)$$

Откуда
$$\lambda_c = \frac{h_{w.c} \cdot D_c \cdot 2g}{L_c \cdot V_c^2} \quad (5)$$

Величина λ_c приравнивается к коэффициенту гидравлического сопротивления ζ_c и используется в зависимостях при определении местных потерь напора $h_{w.c} = \zeta_c \frac{V_c^2}{2g}$ ($\zeta_c = \lambda_c$) (6)

Основными потерями в исследуемом аппарате являются потери в диффузорах, которые считаются местными с коэффициентом местных потерь ζ_d , определяемых экспериментально или по зависимости: $h_{w.d} = \zeta_d \frac{V_{p.тр}^2}{2g}$, (7)

где $V_{p.тр}$ – скорость водовоздушного потока в напорном распределительном трубопроводе. Используя уравнение (7), коэффициент ζ_d считается по зависимости:

$$\zeta_d = \frac{2g \cdot h_{w.d}}{V_{p.тр}^2} \quad (8)$$

При сравнении полных энергий в сечениях 1–1 и d–d (см. рисунок 3) коэффициент ζ_d рассчитывается по зависимости:

$$\zeta_d = \frac{\frac{p_1}{g\rho_o} + \frac{\alpha_K V_1^2}{2g} - \left(\frac{p_d}{g\rho_o} + \frac{V_d^2}{2g} \right)}{V_{p.тр}^2 / 2g}. \quad (9)$$

В настоящей работе с учётом экспериментальных данных значение ζ_d принимается $0,2-0,23$.

Для расчёта оптимальных гидравлических параметров и геометрических

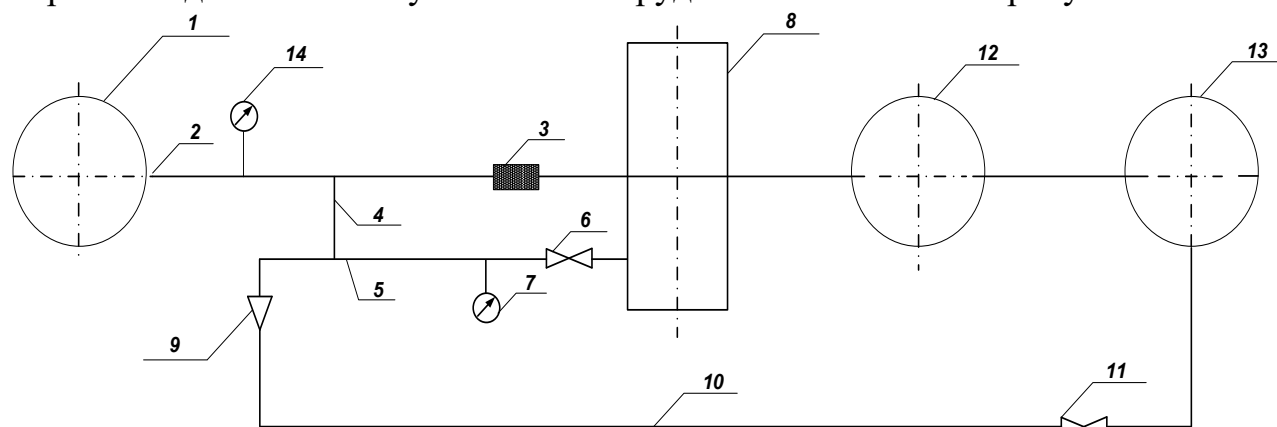
размеров струйного аппарата определены величины, по которым к основным параметрам отнесены: Q_n – объёмный расход смеси, P_c – давление сжатия на выходе из аппарата, α_o – коэффициент эжекции, Q_o – объёмный расход рабочего потока, V_o – скорость потока в сопле, H_n – напор рабочего потока. С учётом исходных данных по величинам гидравлических сопротивлений предлагается методика и расчёт оптимальных параметров (таблица 3).

Таблица 3 – Методика расчёта и расчёт оптимальных параметров системы удаления воздуха из напорных трубопроводов водовоздушным струйным аппаратом (на примере с насосом Д1600/90)

Наименование параметра	Ед. изм.	Формула или обозначение	Количество, ссылка
Гидравлические параметры			
1. Объёмный расход смеси	м ³ /с	$Q_s = \alpha_o \cdot Q_o = 0,32 \cdot 1,0$	0,32 м ³ /с
2. Массовый расход смеси	кг/с	$G_n = Q_s \cdot \rho_{см} = 0,32 \cdot 0,5 = 160,0$	160,0
3. Давление сжатия потока	кг/см ²	$p_c = p - 9,8 \cdot 10^{-6} \cdot h$	10,0
4. Напор насоса для расхода Q_o , H_n	м	Таблица 1	98,0
5. Скорость потока Q_o в сопле	м/с	$V_o = \varphi \sqrt{2gH_n}$	35,08
6. Скоростной напор в сопле $V_o^2/2g$	м	$V_o^2/2g = \frac{35,08^2}{19,62}$	62,72
7. Величина вакуума в камере смешения при напоре насоса $H_n = 98$ м	м	$p_o / g\rho_o$	-4,0
8. Критический коэффициент (при $R = 1,17$)	-	$\alpha_{кр} = \frac{\rho_1 m}{V_o \rho R} \sqrt{\left(\frac{p_a - p_m}{\rho_1} \frac{H_3}{\rho_1} - \frac{hw_1}{\rho_1} \right) 2g}$	8,55
Геометрические размеры			
9. Площадь выходного отверстия сопла ω_o	м ²	$\omega_o = \frac{Q_o}{V_o} = \frac{0,32}{35,08}$	0,0091
10. Диаметр камеры смешения D_n	мм	$m = \frac{D_w^2}{(d_o'^2 - d_o''^2)} \quad D_n = \sqrt{m(d_o'^2 - d_o''^2)}$	112,6
11. Длина камеры смешения L_n	мм	$L_n = 2 D_n$	(рисунок 3) 215,2
12. Наружный диаметр кольцевого сопла d_o'	мм	$d_o' = 0,9 D_n = 112,6 \cdot 0,9$	101,34
13. Расстояние между обрезом сопла и камерой смешения Z	мм	$Z = 2 d_o' = 2$	(рисунок 3) 202,68
14. Внутренний диаметр кольцевого сопла d_o''	мм	Из расчета $\omega_o = 0,785(d_o'^2 - d_o''^2)$	96,10
15. Выходной $D_{вых}$ (входной $D_{вх}$) диаметр диффузора	мм	$D_{вых} = D_n \cdot tg 8^\circ$ $D_{вх} = D_n = 112,6$	368
16. Скорость заполнения напорного трубопровода $V_{н.тр}$ при пуске насосной станции первого подъёма	м/с	$V_{н.тр} = \frac{Q_o}{0,785 D_n} = \frac{0,36}{0,785 \cdot 1,2^2}$	0,31
17. Заполняемый объём напорного трубопровода $W_{н.тр}$ с $D_{н.тр} = 1200$ мм	м ³	$W_{н.тр} = 0,785 \cdot 1,2^2 \cdot 1000$	1130,4
18. Время заполнения напорного трубопровода t , $D_{н.тр} = 1200$ мм	с	$t = \frac{L_{н.тр} \cdot t}{V_{н.тр}} = \frac{1000 \cdot 1}{0,31}$	3225 (0,84 ч)

На основании приведённой методики определены необходимые гидравлические параметры и геометрические размеры системы удаления воздуха с использованием струйного аппарата.

В третьей главе приводятся экспериментальные исследования, проведённые в натурных условиях на мелиоративной насосной станции первого подъёма. Схема установки оборудования показана на рисунке 4.



- 1 – насосная станция первого подъёма; 2 – напорный трубопровод; 3 – обратный клапан;
4 – обводной трубопровод; 5 – линия выпуска воздуха; 6, 11 – задвижки; 7 – манометр;
8 – накопитель; 9 – струйный аппарат; 10 – трубопровод линии рециркуляции;
12 – резервуар; 13 – насосная станция второго подъёма; 14 – вакуумметр

Рисунок 4 – Схема удаления воздуха из напорного трубопровода насосной станции 1-го подъёма

В задачи исследований входило:

1) опытное определение фактических гидравлических параметров струйного аппарата для конкретных эксплуатационных напорно-расходных характеристик в рассматриваемой схеме;

2) определение коэффициента гидравлического сопротивления λ напорного трубопровода при транспортировке водовоздушной смеси

3) вывод зависимости напора рабочего потока струйного аппарата от напора центробежного насоса, заполняющего трубопровод.

Исследования проводились по следующей методике.

1. При подаче расхода на струйный аппарат по схеме, согласно рисунку 4, определялся напор рабочего потока H_n манометром 7 (см. рисунки 4, 5).

2. Расход рабочего потока определялся по зависимости:

$$Q_o = \phi \sqrt{2gH_n} \cdot \omega_{т.р}, \quad (10)$$

где $\omega_{т.р}$ – площадь поперечного сечения трубопровода линии рециркуляции.

3. Определялось значение давления в камере смешения струйного аппарата

$$H_o = \frac{p_c}{g\rho_o} \quad (11)$$

где p_c – давление, определяемое расчётным путём по величине кинетической энергии $V_c^2/2g$;

По вакуумметру (рисунки 4,6) на напорном трубопроводе насосной станции первого подъёма величина вакуума на расстоянии 1350 м от места

установки струйного аппарата.

Показания контрольно-измерительных приборов и результаты вычислений сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Показания приборов и результаты вычислений по п.1 задач исследований

Напор манометра 7, м (рисунок 4)	Фактический расход струйного аппарата, м ³ /с	Скорость рабочего потока в сопле струйного аппарата V_0 , м/с	Величина вакуума в струйном аппарате, м	Скоростной напор в сопле струйного аппарата $V_0^2/2g$, м	Коэффициент гидравлического сопротивления $\lambda = \frac{h_w \cdot D \cdot 2g}{L \cdot V^2}$ (h_w определяется по манометру 7 рисунок 4)	Показания вакуумметра в колодце вантуза, м (см. рисунок 6)	Фактический расход насосной станции (м ³ /с) первого подъёма (по расходомеру рисунок 6)	Фактический 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 4 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.

Для вывода зависимости напора рабочего потока перед струйным аппаратом, напора центробежного насоса насосной станции НС-1 и расстояния по трассе трубопровода от величины вакуума в трубопроводе использована теория планирования эксперимента с применением трёхфакторного плана, (на первом этапе) где в качестве факторов использовались:

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

$H_2(X_2)$ – напор центробежного насоса насосной станции НС-1, определяемый манометром 7 (рисунок 4);

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



Рисунок 5 – Манометр для определения напора рабочего потока перед струйным аппаратом



Рисунок 6 – Место установки расходомера и манометра (вакуумметра) в колодце вантуза (1350 м от здания НС-1)

В качестве критерия принималась величина вакуума B_T по трассе напорного трубопровода, определяемая вакуумметром 2 (рисунок 7).

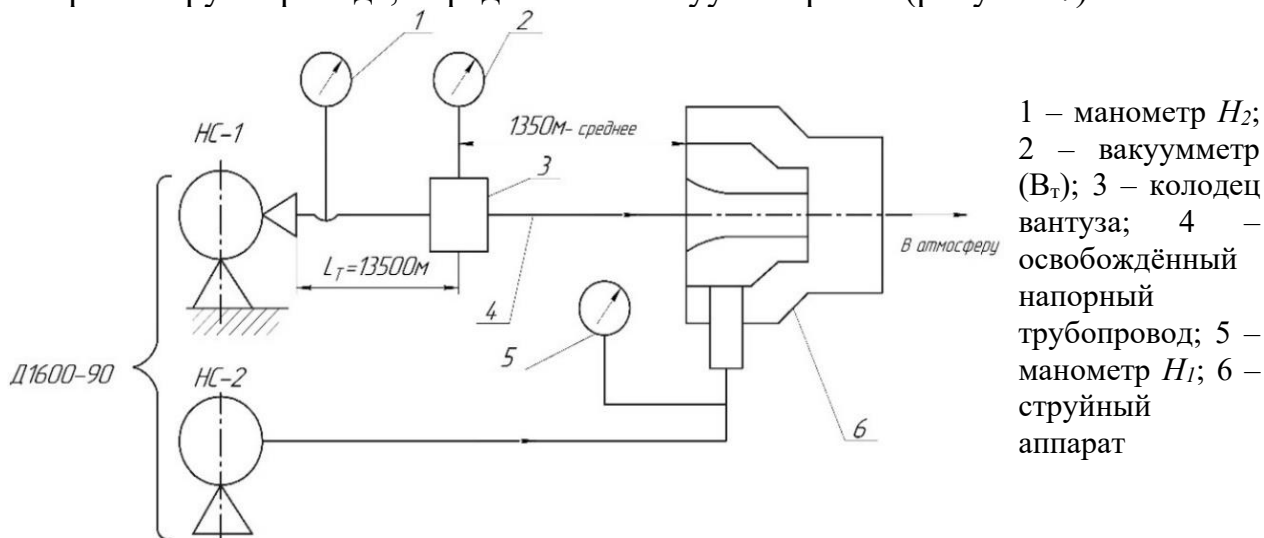


Рисунок 7 – Схема установки оборудования по трассе напорного трубопровода НС-1

Исследования проведены в два этапа: 1) для вычисления степени влияния каждого фактора на критерий, 2) для определения наиболее значимых факторов на значение величины разряжения в напорном трубопроводе, B_T .

Фактические и кодированные параметры показаны в таблице 5, матрица планирования – в таблице 6.

Таблица 5 – Фактические и кодированные 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(+)

Таблица 6 – 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	2	3	4	5	6	7	8
1	+	+	+	80	100	2700	-4,22
2	+	-	-	80	20	0	-4,64
3	-	+	+	40	100	2700	-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

Обработка полученных величин критерия B_T (таблица 6) позволила получить зависимость $B_T = 4,11 + 0,97H_1 + 0,78H_2 + 0,25L_T$, (12)

по которой определена степень влияния факторов $H_1(X_1)$ – 47,2 %, $H_2(X_2)$ – 12,65 % и $L_T(X_3)$ – 37,9 % на критерий B_T

Анализ зависимости (12) показывает, что наибольшее влияние на величину вакуума в напорном трубопроводе оказывает напор перед струйным аппаратом – $H_1(X_1)$ – 47,2 %, напор насосной станции перед заполнением $H_2(X_2)$ 37,95 %, и длина трубопровода $L_T(X_3)$ влияет на 12,65 %, что практически доказывает мгновенное создание вакуума струйным аппаратом в трубопроводе на исследуемой длине 2700 м. Для окончательного расчёта возможности заполнения напорных трубопроводов проведена вторая группа опытов с двумя наиболее значимыми факторами $H_1(X_1)$ и $H_2(X_2)$ и изменёнными, максимально возможными для исследования, интервалами по напору и стабилизированной длиной заполняемого трубопровода 2700 м. Кодированные и фактические параметры показаны в таблице 7, матрица планирования в таблице 8.

Таблица 7– 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 8 – Матрица планирования и величины факторов для второй группы опытов

№ опыта	Факторы		Величины		Критерий	
	$H_1'(X_1')$	$H_2'(X_2')$	$H_1'(X_1'), \text{ м}$	$H_2'(X_2'), \text{ м}$		
1	2	3	4	5	6	
1	+	+	120,0	120,0	-6,8	
2	-	-	50,0	40,0	-4,3	
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						
	$\sum(+)=21,6$ $\sum(-)=14,5$ $10B'_T=+7,1$	$\sum(+)=18,3$ $\sum(-)=17,3$ $20B'_T=+1,0$	$110B'_T=$ $=36,1$	$220B'_T=$ $=35,6$ $110B'_T+220B'_T=71,7$	$120B'_T$ $\sum(+)=11,1$ $\sum(-)=12,2$ $120B'_T=+1,1$	$\sum OB'_T=$ $=53,3$
	$\frac{1}{2} \cdot 11 \cdot OB'_T = 36,1/2 = 18,05$					
	$\frac{1}{2} \cdot 12 \cdot OB'_T = 1,1/2 = 0,55$					
	$\epsilon_{11} = 18,05 - \rho_1 = 18,05 - 17,76 = 0,29$					
	$\epsilon_{22} = -0,025$					
	$\epsilon_1 = \frac{1}{6} \cdot 10B'_T = \frac{1}{6} \cdot 7,5 = +1,25$		$\epsilon_0 = \rho_2 + \rho_3 = 29,6 - 34,6 = -5,0$			
	$\epsilon_2 = \frac{1}{6} \cdot 20B'_T = \frac{1}{6} \cdot 1 = 0,16$		$\epsilon_{12} = \frac{1}{2} X'_1 X'_2 = -3,14$			

В результате обработки материалов таблицы 8 получено уравнение в натуральных величинах

$$B'_T = -5,0 + 1,25X'_1 + 0,16X'_2 - 0,029X'^2_1 + 0,025X'^2_2 - 3,14X'_1X'_2. \quad (13)$$

Для окончательного утверждения возможности использования экспериментально полученного уравнения (13) проведен расчёт критерия B'_T по каждой строчке матрицы (таблица 9).

Таблица 9 – Фактические экспериментальные значения вакуума B'_T , рассчитанные по матрице (см. таблицу 8)

№ опыта	Кодированные величины факторов (теоретические)		Величина вакуума, м		Отклонение, %
	$H_1'(X_1)$	$H_2'(X_2)$	экспериментальная	рассчитанная по уравнению (13)	
1	2	3	4	5	6
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

Продолжение таблицы 9

1	2	3	4	5	6
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 9 показал максимальное расхождение опытных и расчётных параметров 12,4 % с минимальными напорами $H'_1 = 50$ м и $H'_2 = 40$ м, при этом наблюдается вакуум в напорном трубопроводе до -6,0 м. Для определения наибольшего влияния напоров H'_1 и H'_2 на значение вакуума построены графические зависимости $H'_1(X_1) = f(B'_t)$ и $H'_2(X_2) = f(B'_t)$ (рисунки 8, 9).

По рисункам 8 и 9 определяется значение величины вакуума в напорном заполняемом трубопроводе от -6,8 до -7,5 м в зависимости от напоров перед струйным аппаратом и насосной станцией первого подъёма.

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

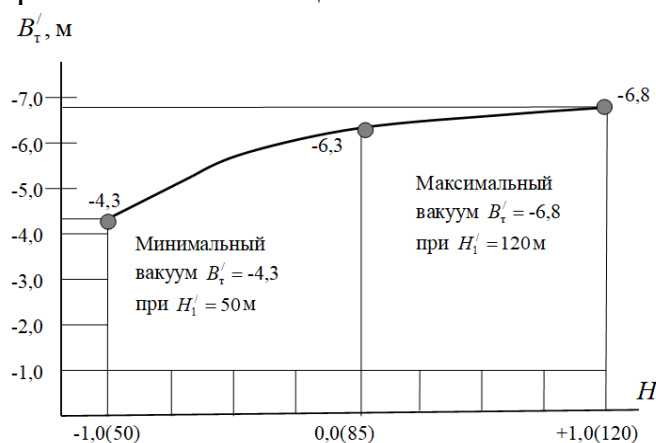


Рисунок 8 – Зависимость величины вакуума в трубопроводе B'_t от напора перед струйным аппаратом H'_1

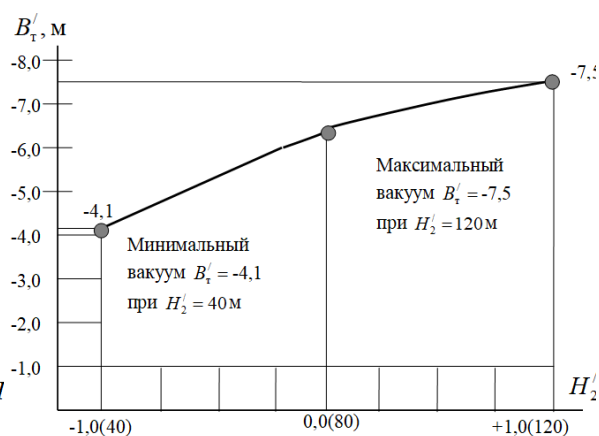


Рисунок 9 – Зависимость величины вакуума в трубопроводе B'_t от напора насосной станции первого подъёма H'_2

В четвёртой главе приводится технологический процесс создания условий для удаления воздуха струйными аппаратами перед пуском, эксплуатацией и остановкой гидромеханического оборудования.

Для наиболее удобного использования предлагаемой технологии заполнения напорных трубопроводов машинистами насосных станций, данный процесс пуска и эксплуатации разработан в графическом виде и табличной форме (рисунок 10, таблица 10).

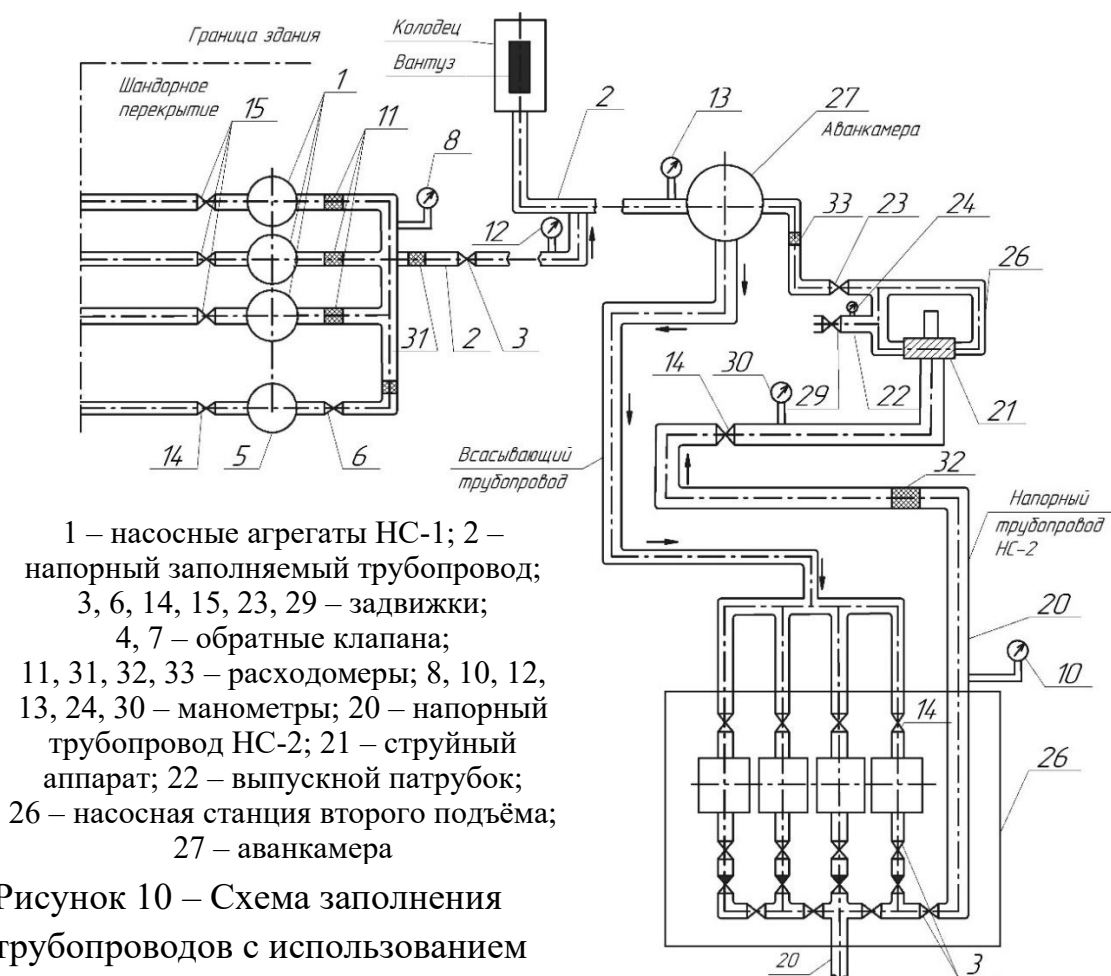


Рисунок 10 – Схема заполнения трубопроводов с использованием струйного аппарата

Таблица 10 – Порядок пуска оборудования НС-1, НС-2 и струйного аппарата при заполнении напорного трубопровода основными агрегатами

№ п/п	Задвижки		Манометры		Расходомеры (при наличии показания)
	№ по схеме	Состояние	№ по схеме	Показания	
1	2	3	4	5	6
Пуск основным агрегатом					
1	15	Открытие	12	Разница отметок водоисточника и оси насоса	Максимальное
2	3 (при пуске 1)	Открытие	12	Плавное увеличение	31 Плавное увеличение до максимума
3	3, 14	Открытие	30	Плавное увеличение	32 Максимальное
4	3, 29	Открытие	24	Максимальное	32 (максимальное)
5	23	Открытие	24	Максимальное	33 (максимальное)
6	Заполнение аванкамеры 27 струйным аппаратом и НС-1				
7	3, 23, 29	Открытие	12, 13, 30	Плавное увеличение	31, 33 (до максимума)
Пуск бустерным насосом 5					
1	3, 6	Открытие	3, 8, 12, 13, 14	Плавное увеличение	31, 32 (до максимума)
2	3, 29	Открытие	12, 30	Плавное увеличение	11 (до максимума)
3	Заполнение аванкамеры 27				
4	3	Открытие	12	Плавное увеличение	31 Плавное увеличение

Плановая остановка основных агрегатов производится в строго

определённом порядке с соблюдением инструкции, при несоблюдении которой могут наблюдаться аварийные ситуации с выводом из строя напорных трубопроводов и корпусов насосных агрегатов.

В пятой главе рассматривается экономическое обоснование исследованного способа заполнения напорных трубопроводов.

В качестве предлагаемого рассмотрен вариант создания отрицательного давления в напорном трубопроводе струйным аппаратом по упрощённому варианту создания отрицательного давления (рисунок 11). Вариант сравнивается с вариантом удаления воздуха с помощью устанавливаемых в колодцах клапанов сброса – вантузов. Экономический эффект от досрочного ввода разработанной технологии определяется с учётом действующей инструкции СН509-78 по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений и методическим рекомендациям по оценке эффективности инвестиционных проектов:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_c + \mathcal{E}_\phi, \quad (14)$$

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

$$\mathcal{E}_c = \beta \varphi \sum_{i=1}^n 3_1 \alpha_1 + \mathcal{E}_s - \sum_{i=1}^n 3_2 \alpha_2, \quad (15)$$

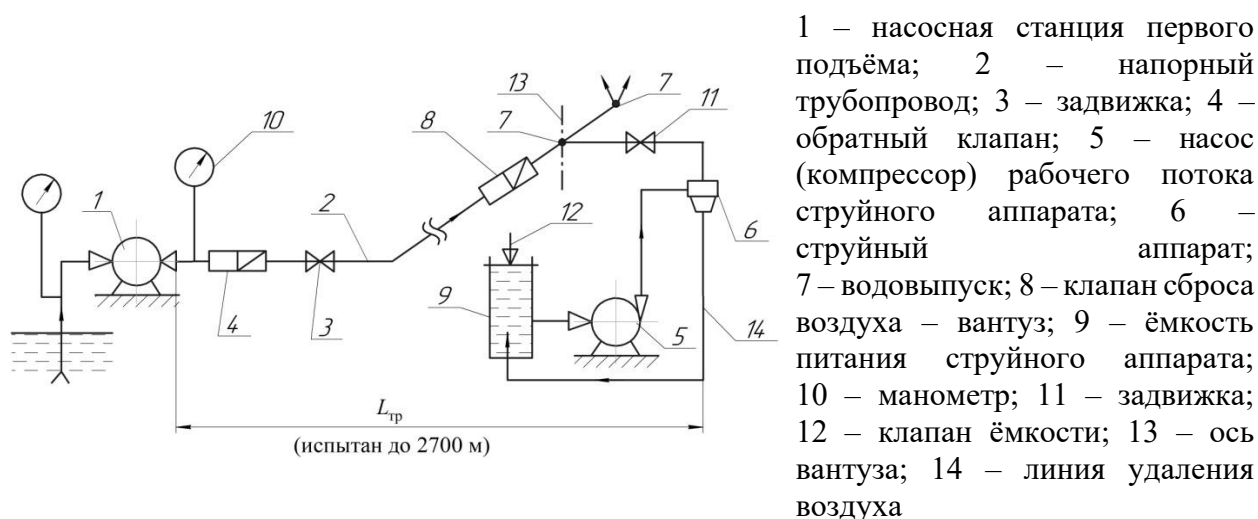


Рисунок 11 – Схема системы удаления воздуха из напорного трубопровода насосной станции первого подъёма (упрощённый вариант)

где

$$3_1 = C_1 + E_n K_{y\partial 1}, \quad (16)$$

$$3_2 = C_2 + E_n K_{y\partial 2}, \quad (17)$$

где $3_1, 3_2$ – 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); φ – коэффициент увеличения срока эксплуатации (принимается 1,0); α – коэффициент приведения (принимается 1,0 в зависимости от завершения строительства $\alpha_1 = 1,29$; $\alpha_2 = 1,25$).

Расчёт проведён по ранее рассмотренной насосной станции первого подъёма НС-1.

Итого по зависимостям (16) и (17) 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:

$$\mathcal{E}_3 = \frac{(I_1 - I_2) - E_n(K_2 - K_1)}{p_2 + E_n}, \quad (18)$$

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): $I_{12} = I'_{12} + C$ (I_{12} – амортизация основных фондов); $I'_{12} = p_{c1,2} + p_{об1,2}$ ($p_{c1,2}$ – отчисления на текущий ремонт сооружений, 4,1 % от кап. вложений; $p_{об1,2}$ – отчисления на текущий ремонт оборудования, 15 % от стоимости оборудования);

$$p_{c1} = 898,0 \cdot 0,041 = 36,81 \text{ (тыс. руб.)}; \quad p_{c2} = 100,0 \cdot 0,041 = 4,1 \text{ (тыс. руб.)};$$

$$p_{об1} = 130,0 \cdot 0,15 = 19,5 \text{ (тыс. руб.)}; \quad p_{об2} = 50,0 \cdot 0,15 = 7,5 \text{ (тыс. руб.)}.$$

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:

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

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

$p + E_n$ – коэффициент реновации, принимается 0,63.

На основании вышеизложенного определён экономический эффект в сфере эксплуатации по зависимости (18)

$$\mathcal{E}_3 = \frac{(56,3 - 11,6) - 0,15(115,2 - 9,0)}{0,63} = 45,66 \text{ (тыс. руб.) и досрочного ввода}$$

$$\mathcal{E}_\phi = E_n \Phi(t_1 - t_2), \quad (19)$$

где t_1, t_2 – сроки строительства, годы ($t_1 = 1,2$; $t_2 = 0,1$); 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 составляет 624,75 тыс. руб.

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

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, А.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 $D_{ц} = 112,6$ ($\bar{D}_{ц} = 1,0$), наружного диаметра кольцевого сопла $d'_o = 101,34$ ($\bar{d}'_o = 0,9$), длины камеры смешения $L_{ц} = 215,2$ мм, расстояние между обрезом сопла и началом камеры смешения $Z = 202,68$ мм, 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 РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых научных изданиях

1. 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

2. 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

3. 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.

4. 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.

Патенты

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

2. Пат. на полезную модель № 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: ФГБОУ ВО «Донской ГАУ». – № 20189111840; заявл. 18.04.2019; опубл. 24.10.2019. Бюл. № 12.

Статьи в журналах, тематических сборниках и материалах научных конференций

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

2. 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.

3. 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, посвящённой 75-летию Победы в Великой Отечественной войне. Махачкала 29.04.2020 г. С. 141-147.

4. 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.