

Отзыв

официального оппонента, кандидата технических наук, ведущего научного сотрудника отдела природоохранных и информационных технологий ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» Рогачева Дмитрия Алексеевича на диссертационную работу Цыпленкова Дмитрия Степановича на тему: «Техническое и технологическое обоснование способов удаления воздуха струйными аппаратами из оросительных трубопроводов» представленную в диссертационный совет 35.2.030.07 при ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки).

Структура и объем диссертационной работы.

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.

Актуальность темы диссертации.

Современная трубопроводная арматура по сбросу воздуха из напорных трубопроводов при их заполнении в системах мелиорации водоснабжения представлена, в основном, клапанами сброса – вантузами. Только в Ростовской области эксплуатируются тысячи километров напорных трубопроводов 102-х мелиоративных насосных станций и 160 водоканалов, которые при ремонтных работах и остановках на зимний период опорожняются и заполняются водой. При проектировании водоводов по существующим стандартам для выпуска воздуха предусматривается установка клапанов сброса воздуха – вантузов с устройством смотровых

колодцев в точках перепада профиля местности и установкой необходимого оборудования. Такого вида схема прокладки дорогостоящая, сложна в эксплуатации, препятствующая проведению полевых работ при эксплуатации сельскохозяйственной техники. В связи с вышеизложенным, задача поиска технических решений, направленных на совершенствование систем заполнения и опорожнения напорных трубопроводов, является актуальной, автором сформулирована цель и задачи исследований.

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

В задачи исследований входило:

- 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 работы:

- 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.

Методология и методы исследований Исследования проведены в натурных условиях на насосной станции первого подъёма 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».

Степень достоверности и апробация работы подтверждается анализом литературных источников, объемом натурных экспериментальных исследований, патентами РФ № 2733781, №193337 на конструкцию и способ

удаления воздуха из трубопроводов.

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 исследований приняты для внедрения в ГУП «Кубаньводкомплекс» Краснодарского края, ремонтно-эксплуатационное управление.

Разработанная и исследованная схема удаления воздуха введена в эксплуатацию при первичном заполнении напорного трубопровода водой перед пуском насосной станции первого подъема на реке Казачий Ерик (приток р. Кубань) Темрюкского района Краснодарского края.

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.

Оценка языка и стиля изложения диссертации, качество оформления, степени завершенности.

Диссертационная работа Цыпленкова Дмитрия Степановича является законченной научно-квалификационной работой. Диссертация и автореферат оформлены в соответствии с требованиями ВАК к диссертационным работам согласно ГОСТ Р.7.011-2011. Материал изложен доступно, грамотно иллюстрирован.

Краткий анализ содержания диссертации.

Во введении обоснована актуальность темы, цель и задачи исследований, описаны объект, предмет и методы исследований, научная новизна, степень разработанности темы, теоретическая и практическая значимость.

В первой главе проведен анализ существующих струйных установок, используемых для удаления воздуха из трубопроводов, показаны схемы и описаны конструкции водовоздушных струйных аппаратов. Приведено описание существующих методов создания вакуума во всасывающих трубопроводах насосных станций. Рассмотрены вопросы по созданию вакуума во всасывающих трубопроводах систем смешения удобрений с водой. При анализе установлено, что в качестве основной зависимости при расчетах жидкостно-газовых аппаратов используется уравнение количества движения.

В выводах указывается, что существующие конструкции установок предусматривают вакуум-насосы, при заполнении трубопроводов устанавливаются дорогостоящие конструкции клапанов сброса воздуха – вантузов.

Кроме того указано, что существующие методы расчета расхода воздуха по напору и расходу основаны на рекомендациях ученых РФ А.Д. Бермана и Б.А. Лямаева, предусматривающих вовлечение воздушного потока в водяную напорную струю с отсутствием возможности определения геометрических размеров и гидравлических параметров элементов струйного аппарата. На основании проведенного анализа сформулированы **цель и задачи диссертационной работы.**

Вторая глава посвящена теоретическому обоснованию возможности заполнения всасывающих и напорных трубопроводов струйными аппаратами. Для вывода теоретической зависимости определения величины вакуума во всасывающем патрубке струйного аппарата рассмотрена конструкция наиболее эффективного по энергетическим показателям кольцевого струйного аппарата с двухповерхностной рабочей струей. В теоретическое обоснование входило:

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

Предварительно рассмотрено определение полной энергии в сопле и камере смешения, как суммы потенциальной и кинетической. В главе приведен пример расчета, показанный в таблице 2.1. Анализом таблицы 2.1 установлено, что при оптимальном напоре принятого для примера насоса Д1600-90 величина отрицательного давления колеблется от -6,93 м до -8,86 м. Установлено, что при вакууме такой величины имеется возможность подсоса воздуха из заполненного напорного трубопровода. В таблице 2.2

приводятся параметры струйного аппарата в зависимости от коэффициента эжекции. Анализом таблицы 2.2 установлена возможность откачки сухого воздуха из трубопровода. В разделе 2.2 стр. 36 приводится порядок теоретического определения расхода подсасываемого воздуха в зависимости от напора в напорном трубопроводе.

Установлено, что расход подсасываемого потока зависит от величины вакуума в корпусе струйного насоса и напорном трубопроводе, и что основным фактором, влияющим на расход сухого воздуха, является коэффициент эжекции, зависящем от напора в распределительном трубопроводе струйного аппарата. Для подтверждения методики расчета, приведена таблица 2.3 с расчетом величины напора от коэффициента эжекции и графическая характеристика величины напора от коэффициента $\bar{H}_Г = f(\alpha_0)$ (рисунок 2.3).

В разделе 2.4 приводятся рекомендации по определению геометрических размеров и гидравлических параметров водовоздушных аппаратов, на основе которых предлагается методика расчета элементов струйного водовоздушного аппарата (таблица 2.5) по исходным данным (таблица 2.4).

В выводах главы сказано, что по предложенной теоретической методике, предлагается порядок вычисления основных параметров системы удаления воздуха из напорных трубопроводов при их первоначальном заполнении. По приведенным зависимостям видно, что основным параметром является весовой коэффициент эжекции. По расчету установлено время наполнения напорного трубопровода длиной 3500 м и диаметром 1200 мм, 1,29 часа, при отсутствии клапанов сброса воздуха.

В третьей главе «Экспериментальные исследования» описаны натурные экспериментальные исследования, проведенные на насосной станции поверхностного водозабора из р. Кубань, подающей воду двумя нитями напорного трубопровода с диаметром 1200 мм, тремя насосами Д1600-90 для целей орошения и водоснабжения.

На рисунке 3.3 приведен продольный профиль трассы с отметками, привязанными к оси насосных агрегатов, на рисунке 3.4 показана схема удаления воздуха из напорного трубопровода насосной станции первого подъема, включающая насосную станцию, напорный трубопровод и трубопроводную арматуру с линией рециркуляции и струйным аппаратом для удаления воздуха. На рисунках 3.5, 3.6 показаны схема установки струйного аппарата и аппарат в общем виде. По методике проведения исследований и приведенным зависимостям определялись расходы, напоры, величина вакуума в трубопроводе. Показания контрольно-измерительных приборов и результаты вычислений сведены в таблицу 3.1. Целью экспериментальных исследований являлся вывод математической зависимости напоров насоса, рабочего потока перед струйным аппаратом, длины трубопровода от величины вакуума в трубопроводе. При проведении исследований использована теория планирования эксперимента. По результатам проведенных расчетов по матрице планирования по первой группе опытов получена зависимость степени влияния факторов H_1 – напор рабочего потока перед струйным аппаратом, H_2 – напор центробежного насоса и L_T – расстояние по трассе трубопровода от насосной станции первого подъема на критерий B_T – величина вакуума по трассе трубопровода, по которой графически показан процент влияния каждого фактора на критерий. По второй группе опытов, без фактора L_T (менее влияющий на вакуум) получено уравнение (3.8) в натуральных выражениях, анализ которого позволил определить величину вакуума в наполняемом трубопроводе с максимальным значением -6,8 м.

Для окончательного утверждения возможности использования экспериментально полученного уравнения (3.8) проведен расчет критерия по каждой строчке матрицы, и построена графическая зависимость величины вакуума в трубопроводе от напора насосной станции (рисунок 3.13), по которому определено значение величины разряжения в заполняемом трубопроводе от -6,8 до -7,5 м.

В выводах по главе указано, что влияние максимально возможных напоров насосного оборудования 120 м на степень разряжения в напорном трубопроводе, установленное экспериментальными исследованиями, оказывает в равной степени как напор насосной станции первого подъема, так и напор перед струйным аппаратом $(-6,8 \div -7,5)$ м.

Установлено – 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 $\frac{P_c}{g\rho_0}$.

Четвертая глава посвящена технологическому процессу возможности удаления воздуха струйными аппаратами. Для наиболее удобного использования предлагаемой технологии заполнения трубопроводов, процесс пуска оборудования и дальнейшей эксплуатации разработан в графическом виде и табличной форме, и упрощения контроля производимых операций с трубопроводной арматурой машинистами насосной станции.

Плановая остановка агрегатов производили в определенном порядке с соблюдением инструкции по эксплуатации гидромеханического оборудования. Состояние контрольно-измерительных приборов при плановых остановках автором показано в таблице 4.2.

В выводах по 4 главе автором указано, что при заполнении напорных трубопроводов с использованием струйных аппаратов разработанный технологический процесс пуска и остановки насосных агрегатов позволяет:

- 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 водоемном источнике;

- обосновать возможность безаварийной эксплуатации трубопроводной сети и сооружений по трассе магистральных водоводов.

В пятой главе рассмотрено экономическое обоснование исследованного способа заполнения трубопроводов.

Предлагаемый вариант заполнения сравнивается с вариантом удаления воздуха с помощью устанавливаемых в колодцах клапанов сброса – вантузов. В качестве предлагаемого варианта рассмотрен наиболее упрощенный способ использования струйного аппарата, показанный на рисунке 5.2, где в качестве подающего в струйный аппарат насоса может быть использован компрессор. В главе, в таблице 5.1, показана стоимость сооружений по заменяемому и предлагаемому вариантам. Определены затраты по заменяемому варианту 274,7 тыс. руб. и предлагаемому 23,7 тыс. руб., определен эффект в сфере эксплуатации 45,6 тыс. руб., в сфере досрочного ввода 16,5 тыс. руб. и годовой экономический эффект на одну, принятую в расчете, систему заполнения 624,75 тыс. руб. В заключении сказано, что расчет проведен без учета экономического эффекта от увеличенной занимаемой полосы отчуждения при строительстве колодцев.

В выводах по 5 главе сказано, что в случае учета пуска и остановок гидромеханического оборудования насосных станций ЮФО (404 станции) экономический эффект может быть существенно увеличен.

В заключении автор аргументировано отразил полученные результаты в диссертационной работе. Сформулированы выводы по каждой задаче.

В рекомендациях производству предлагается при монтаже струйного аппарата учитывать 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).

В перспективах дальнейшей разработки темы рекомендуется предусмотреть исследования с заполнением трубопровода 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.

По работе имеются замечания

1. В выводах по главе 1 п.3 сказано, что КПД предлагаемых в литературе современных струйных аппаратов низкое и достигает 33-36%. Анализ данного утверждения по тексту главы отсутствует и непонятно из каких соображений принято данное утверждение.

2. В главе 2 сказано, что в задачи теоретического обоснования входит разработка методики расчета параметров водовоздушного струйного аппарата, и сказано, что в теоретическое обоснование входит определение гидравлических параметров, определяющих величину отрицательного давления в корпусе струйного аппарата (п.1 стр. 30). С расчетными данными показана таблица 2.5 в которой приведенные гидравлические параметры, влияющие на возможность откачки воздуха отсутствуют.

3. В выводах главы 2 п.2 сказано, что по приведенным зависимостям видно, что основным параметром является коэффициент эжекции. В таблице 2.5 п. 10 определяется критический коэффициент, но не как основной?

4. В главе 3 «Экспериментальные исследования» на рисунке 3.3 приведен продольный профиль напорного трубопровода. Непонятно, из каких соображений его отметки привязаны к оси рабочего колеса, когда отметка уровня водоисточника играет немаловажную роль в эксплуатации гидромеханического оборудования.

5. На схеме (рисунок 3.4) показано, что в качестве рабочего потока для струйного аппарата используется вода от линии рециркуляции насосной станции второго порядка. Непонятно данное утверждение для случая, когда указанная станция находится в выключенном состоянии.

6. На рисунке 3.11 показана степень влияния исследованных факторов на критерий – величину вакуума по трассе напорного трубопровода непонятно, из каких соображений выбран данный критерий?

7. В таблице 3.6 показаны фактические эксплуатационные значения вакуума, рассчитанные по матрице (таблица 3.5), и на основании данных методики расчета, где наибольшее отклонение получено в размере 12,4 %, что на значениях -4,3 м и -6,0 является существенным отклонением, указывающим на неточности в проведенных исследованиях.

8. В экономическом обосновании на рисунке 5.2 показана упрощенная схема эксплуатации струйного аппарата. Непонятно, для каких целей использовать линию рециркуляции и насосную станцию второго подъема, значительно усложняющую предлагаемую эксплуатационную схему, когда имеется возможность использовать данный упрощенный вариант?

Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации.

Автореферат полностью отражает основные рассмотренные идеи и выводы диссертационной работы.

Заключение

Диссертация Цыпленкова Дмитрия Степановича на тему: «Техническое и технологическое обоснование способов удаления воздуха струйными аппаратами из оросительных трубопроводов» представляет собой законченный научный труд, выполненный на высоком теоретическом и методическом уровне, содержит новые научно обоснованные технические и технологические решения, имеющие существенное значение для развития страны. Несмотря на отмеченные недостатки, диссертация является

законченной научно-квалификационной работой, по своей направленности, актуальности, методам исследований, достоверности полученных результатов, научной и практической значимости соответствует критериям пунктов 9, 10, 11, 13 и 14 действующего «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013 г., а её автор Цыпленков Дмитрий Степанович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 4.1.5. Мелиорация, водное хозяйство и агрофизика (технические науки).

Официальный оппонент:

Рогачев Дмитрий Алексеевич

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела природоохранных и информационных технологий ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова»

« 30 » октября 2025 г.

 Рогачев Д.А.

ФГБНУ «ФНЦ ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова» 127434, г. Москва, ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 2

+7-(916)-026-39-71

E-mail: AI@vniigim.ru

Подпись заверяю



Зав. отделом 
И.Н. Скоркина