

Утверждаю:

ВРИО директора

ФГБНУ ВНИИ «Радуга»

канд.техн.наук

Турапин С.С.

«21» ноябрь 2025г.



## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Короткоручко Дмитрия Юрьевича, на тему: «Обоснование совместного применения пневматических баков и насосов с регулируемым приводом в системах водоподачи», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности: 2.1.6 – «Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология»

Диссертационная работа Д.Ю. Короткоручко выполнена на кафедре сельскохозяйственного водоснабжения, водоотведения, насосов и насосных станций федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет–МСХА имени К.А. Тимирязева». Работа изложена на 139 страницах, иллюстрирована 26 таблицами, 36 рисунками и содержит 3 приложения. Состоит из введения, четырех глав основной части, выводов и трех приложений. Список литературы включает 183 источника, в том числе 34 зарубежных авторов.

На основании изучения диссертации и публикаций соискателя Д.Ю. Короткоручко установлено следующее:

**Актуальность** диссертационной работы. В работе рассматриваются состояние и проблемы безбашенных систем водоподачи. Актуальность проведенного исследования не вызывает сомнений. Автор справедливо отмечает, что надежное централизованное водоснабжение — ключевой

элемент комфортной и современной городской среды, а также объектов социального назначения. В работе дан критический анализ традиционных решений, в частности, водонапорных башен, указаны их существенные эксплуатационно-экономические недостатки, особенно в условиях нашего климата. В качестве перспективной альтернативы рассмотрены безбашенные системы с пневмобаками, преимущества которых (стабилизация давления, повышение надежности, снижение капитальных затрат) очевидны.

Однако автор абсолютно прав, констатируя, что настоящим «узким местом» в развитии данной технологии является недостаточная изученность режимов совместной работы пневматических баков и насосного оборудования с частотным регулированием. Таким образом, поставленная в диссертации задача по оптимизации энергопотребления таких комплексных систем является не просто актуальной, а своевременной и востребованной практикой.

Главная же заслуга автора в том, что он выявил и четко сформулировал конкретную, еще не решенную проблему в рамках этой перспективной технологии: отсутствие отработанных методик для энергоэффективной интеграции пневмобаков и частотно-регулируемых приводов. Решение этой проблемы, предложенное в работе, позволит перейти от простой замены оборудования к качественной оптимизации всей системы, что и определяет научную и прикладную новизну исследования.

**Научная новизна** автором представлена как: проведенный анализ исследований технологий использования безбашенных систем водоподачи и оценка проблемы энергосбережения, что позволило предложить концепцию системы пневмобаков и насосов с частотно-регулируемым приводом, теоретически обосновать эффективность системы и получить математическую модель прогнозирования характеристик и их трансформации при изменении параметров работы насосов. Получены результаты лабораторных гидравлических исследований и компьютерного моделирования, которые позволили оптимизировать размеры пневмобака и параметры работы насосов при требуемых гидравлических показателях системы. Получены результаты

оценки эффективности применения пневмобаков и частотных преобразователей.

**Теоретическая и практическая значимость** диссертационной работы заключается в разработке концепции обеспечения энергосбережения при применении системы пневмобаков и насосов с частотно-регулируемым приводом и, полученной по результатам экспериментов, возможности прогнозирования характеристик и их трансформации при изменении параметров работы насосов. Практическая значимость заключается в разработке системы водоподачи и получении эффекта энергосбережения.

**Достоверность** результатов исследований подтверждается высоким уровнем корреляции теоретических и экспериментальных данных исследований, применением современных сертифицированных измерительных приборов и стандартных методик. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 150-летию со дня рождения А.Я. Миловича, Москва, 2024; Международной научной конференции «Актуальные вопросы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды в изменяющемся климате: адаптация, устойчивость и производственный процесс», г. Ереван, Республика Армения, 2025; Молодежной научно-практической конференции «Актуальные вопросы экологии и безопасности», IX Всероссийском водном конгрессе, Москва, ЦВК «Экспоцентр», 2025; Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 160-летию Тимирязевской академии, 2025. Результаты работы внедрены на предприятии АО «АТТРАКЦИОН-ЭКСПО».

### **Анализ диссертационной работы.**

**Во Введении** изложена актуальность темы исследований, степень разработанности, цель и задачи исследований, научная гипотеза и научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследований, положения, выносимые на защиту, степень достоверности, личный вклад автора.

**В первой главе** рассмотрен сравнительный анализ двух основных систем водоподачи: традиционных башенных систем и современных систем с пневматическими баками. В разделе, посвящённом водонапорным башням, подробно разбирается их принцип действия, создаваемый напор и ключевые недостатки, включая высокую стоимость строительства и эксплуатации, низкую энергоэффективность, ограниченную гибкость регулирования давления и риски загрязнения воды. Далее анализ пневматических (безбашенных) систем, описана их классификация (по конструкции, назначению, установке), преимущества (высокая энергоэффективность, гибкость, надежность) и недостатки (зависимость от электроснабжения, ограниченный объем). Особое внимание уделяется сравнению мембранных и без мембранных баков, где делается вывод в пользу мембранных конструкций за счет их стабильности и эффективности. В выводе главы обосновывается перспективность совместного использования пневматических баков с насосами с частотным регулированием для повышения энергоэффективности.

**Во второй главе** представлены научные подходы к теоретическому обоснованию эффективности совместного применения пневматических баков и насосов с частотно-регулируемым приводом (ЧРП). В главе подробно анализируется неравномерность водопотребления, описываемая коэффициентами суточной и часовой неравномерности, и ее влияние на работу насосного оборудования. Автор проводит глубокий математический анализ, выводя и модифицируя формулы для расчета объема пневмобака (2.8, 2.15) с учетом влияния частоты вращения насоса, а также законов термодинамики (Бойля-Мариотта, Генри). Рассматривается взаимодействие насоса и трубопровода через уравнение баланса напора и потерь, определяется понятие "рабочей точки" системы. Значительная часть главы посвящена расчету режимов работы системы, включая время наполнения и опорожнения бака, продолжительность цикла и частоту включений насосов, с выведением сложных дифференциальных уравнений для различных сценариев, в том числе для многонасосных установок. В итоге, глава подчеркивает необходимость

комплексного подхода к расчету параметров системы для оптимизации ее энергоэффективности и надежности.

**В третьей главе** автором проведены экспериментальные исследования, целью которых была оценка энергоэффективности системы водоподачи с пневматическим баком и насосом с частотным регулированием. Исследования проводились на лабораторной установке, включающей насос, пневмобак, компрессор, частотный преобразователь и комплекс измерительных приборов (датчики давления, расхода, ваттметр, тахометр). Методика экспериментов состояла из нескольких этапов: сначала были сняты паспортные и рабочие характеристики насоса при разных частотах вращения, затем к системе подключался пневматический бак и проводились замеры ключевых параметров (времени наполнения бака, давления в системе и мощности насоса) при различных комбинациях давления воздуха в баке (50-200 кПа) и расходов воды (1,5-10,8 л/мин), как с использованием частотного преобразователя, так и без него. В главе приведены таблицы с сырыми данными экспериментов и утверждается, что погрешности измерений находятся в допустимых пределах, что обеспечивает достоверность результатов.

**В четвертой главе** автор представляет обработку экспериментальных данных и оценку энергетической и экономической эффективности системы. Для анализа данных применялась математическая модель на основе гауссовского процесса регрессии (кригинга). Результаты визуализированы в виде серии 3D-графиков, показывающих зависимость мощности насоса от времени наполнения бака и давления в системе при различных параметрах. В главе выявлены ключевые закономерности: увеличение времени наполнения бака при снижении частоты вращения насоса и нестабильность системы при высоких расходах. На основе анализа сформулированы рекомендации по выбору рабочих параметров (давления воздуха, объема бака) и представлена таблица с рекомендуемыми значениями. Для количественной оценки эффективности выведена формула расчета средней мощности насоса за цикл

(4.2), учитывающая время его работы и паузы. На основе этой формулы рассчитана средняя мощность для различных режимов и определено суммарное время работы насоса в течение часа, что служит основой для последующих энергетических и экономических расчетов.

**В выводах** представлены результаты исследований, основные выводы диссертационной работы, сформулированные в виде шести ключевых результатов. Резюмируется, что анализ показал преимущества пневматических баков перед башенными системами и перспективность использования частотно-регулируемого привода (ЧРП). Утверждается, что в ходе теоретических и экспериментальных исследований были установлены закономерности взаимодействия параметров системы, разработана математическая модель и экспериментальная установка. По результатам оптимизации обоснован рабочий диапазон давления, а технико-экономическая оценка демонстрирует снижение мощности оборудования и повышение энергоэффективности до 60% по сравнению с существующими системами.

**Направления дальнейших исследований и рекомендации производству** Перспективы дальнейших исследования по теме диссертации связаны с необходимостью изучения гидрогазодинамики систем водоподачи с целью оптимизации конструкции мембранны как наиболее уязвимой части пневматических баков, а также для сокращения затрат на обслуживание систем водоподачи и экономии электроэнергии.

#### **Оценка содержания диссертационной работы.**

Диссертационная работа является завершенной научно-исследовательской работой, направленной на решение важной народнохозяйственной задачи – оценке и оптимизации параметров совместной работы пневматических баков с регулируемыми насосами в системах водоподачи для обеспечения энергосбережения при требуемых гидравлических показателях.

**Публикации.** По материалам диссертации опубликованы 7 печатных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки

РФ. Общий объём опубликованных работ 3,59 п.л., из них 2,84 п.л. принадлежит автору.

### **Замечания по работе**

1. Сравнительный анализ башенных и безбашенных систем проводится разрозненно. Отсутствует сводная таблица с прямым сопоставлением ключевых параметров (капитальные затраты, эксплуатационные расходы, КПД, требования к обслуживанию, срок службы) для наглядности и удобства выводов. Читателю приходится самостоятельно синтезировать итоговую картину из разбросанных по тексту тезисов.

2. Утверждения о "высокой стоимости" башен и "снижении капитальных затрат" у пневмосистем не подкреплены конкретными цифрами, сравнительными расчетами или ссылками на актуальные сметы. Без экономического обоснования эти тезисы остаются декларативными и не позволяют объективно оценить эффективность инвестиций в ту или иную технологию.

3. Выводы по результатам анализа таблиц 3.1-3.5 на стр. 88 приведены в сухом и трудном для понимания изложении, автору следовало более детально провести анализ табличных значений.

4. Хотя автор приводит расчёт погрешностей измерительных приборов, он не предоставляет данных о воспроизводимости результатов. Лабораторная установка имитирует лишь малую часть реальной системы, и не проведено обоснование, насколько её работа масштабируема на реальные системы водоснабжения.

5. В тексте формула стр. 96, формула (4.1)  $P_{\text{сист}} = P_{\text{мин}} + \Delta P/2$  представлена как инструмент для расчета диапазона давления. Однако в данном виде она вычисляет давление системы (о чем свидетельствует индекс, указанный автором), а не диапазон. Далее по тексту утверждается, что рабочее давление должно быть 100 кПа. Логическая связь между формулой и этим итоговым значением не прослеживается.

Несмотря на вышеизложенные замечания, диссертация является законченной научно-квалификационной работой. По актуальности, научной новизне, теоретической и практической значимости, выводам и рекомендациям диссертация соответствует критериям указанным в «Положении о присуждении ученых степеней» утвержденного Постановлением правительства Российской Федерации №842 от 24.09.2013г., а ее автор, Короткоручко Дмитрий Юрьевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.6 – «Гидротехническое строительство, гидравлика и инженерная гидрология».

Отзыв на диссертационную работу Короткоручко Дмитрия Юрьевича рассмотрен и одобрен на заседании Ученого Совета ФГБНУ ВНИИ «Радуга» (протокол № 10 от «18» ноября 2025г.).

Отзыв рассмотрен на заседании отдела СХВ (протокол №8 от 16.11.2025г.).

Отзыв подготовил:

Зав. научно-исследовательским отделом,  
сельскохозяйственного водоснабжения  
ведущ. науч. сотр к.т.н.

 Н.А.Мищенко

Подпись Мищенко Н.А. заверяю

Подпись Бычева кадров Макеева Н.С.





Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский институт систем орошения и  
сельхозводоснабжения «Радуга» (ФГБНУ ВНИИ «Радуга») 140483  
Московская область Коломенский район, посёлок Радужный, д. 33 А.

E-mail: [prraduga@yandex.ru](mailto:prraduga@yandex.ru) Тел. 8946-6170-474