

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Оренбургский государственный аграрный университет

На правах рукописи

Фомин Максим Борисович



**ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ К ОБЛЕДЕНЕНИЮ
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВОДОНАПОРНЫХ БАШЕН СИСТЕМЫ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ И
КОМПЛЕКСОВ**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Петько Виктор Гаврилович

Оренбург – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	11
1.1 Отраслевая специфика развития систем сельскохозяйственного водоснабжения	11
1.2 Анализ влияния фактора низкой температуры окружающего воздуха на надежность системы водоснабжения животноводческих ферм и комплексов	16
1.2.1 Общая характеристика процесса образования льда в баке водонапорной башни	16
1.2.2 Анализ скоростного режима и интенсивности воздушных потоков на территории Оренбургской области	21
1.3 Анализ существующих средств и способов для замедления процесса льдообразования в гидросооружениях башенного типа	29
2. РАЗРАБОТКА И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СРЕДСТВ, ПОВЫШАЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ПУТЕМ ОГРАНИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОДОНАПОРНЫХ БАШЕН	40
2.1 Конструкторско-технологическое решение интенсификации конвективных потоков в баке водонапорной башни и подвода в него тепла от альтернативных источников энергии	40
2.2 Теоретическое обоснование путей и методов проектирования устройств для предотвращения льдообразования	44
2.2.1. Система расчёта параметров водонапорной башни, устойчивой к обледенению	44
2.2.2 Алгоритм расчета и анализа силовых характеристик активатора циркуляции	46
2.3 Моделирование процесса образования льда на стенках водонапорной башни	52
2.3.1 Водонапорная башня в виде бака одинакового диаметра по всей высоте	52
2.3.2. Водонапорная башня с баком, расположенным на стойке	59
Выводы по главе	65
3. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	66

3.1. Определение функций изменения ледяной массы во внутренней полости водонапорной башни в зависимости от природно-климатических факторов и режима водопотребления	66
3.2. Оценка влияния дополнительных источников тепла на интенсивность обледенения	76
3.3. Определение характеристик теплообменного процесса между водой и грунтом для подземной части емкости водонапорной башни	86
3.3.1 Экспериментальная установка	86
3.3.2 Методика и результаты эксперимента	88
3.4 Экспериментальное исследование лопастного активатора	89
3.4.1 Экспериментальная установка	89
3.4.2 Тарировка балансирующего механизма для измерения момента вращения	95
3.4.3 Методика определения момента сопротивления на валу ротора активатора при взаимодействии с жидкостью	96
3.4.4 Результаты проведенных экспериментальных исследований	99
3.5 Экспериментальное исследование работы механического лопастного активатора в условиях производственных испытаний	101
Выводы по главе	104
4. ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛАГАЕМОГО СПОСОБА	106
Выводы по главе	112
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	113
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	115
ПРИЛОЖЕНИЯ	138

ВВЕДЕНИЕ

Государственной программой развития сельского хозяйства до 2020 г. определены приоритетные направления поддержки такие, как развитие инфраструктуры, развитие фермерства, процессы переработки, мелиорация. При этом ежегодно выделяются финансовые средства для развития внутрихозяйственных гидромелиоративных систем [29,80].

Основные отличия сельскохозяйственного водоснабжения от бытового и промышленного заключается в рассредоточенности объектов и сезонной цикличности аграрного производства. Расход хозяйственно-питьевого ресурса осуществляется, прежде всего, на нужды населения, в коммунальные предприятия, на животноводческие фермы и комплексы, на предприятия по первичной переработке сельскохозяйственной продукции, в производственные здания, гаражи и мойки, на полив растений в парниках и теплицах, на противопожарные цели [10,55,76,81,88,167,174].

В современных условиях рыночной экономики значительно возросла доля продукции животноводства, приходящейся на животноводческие фермы и комплексы. Однако, износ систем водоснабжения, не позволяет вести производство с достаточно высокой эффективностью [10,80,111].

Для нормальной деятельности сельскохозяйственных предприятий необходима четко работающая и экономически выгодная система водоснабжения. Она должна быть спроектирована на основе сопоставления технологических вариантов с учетом особенностей объекта потребления, требуемых расходов и напоров воды на различных периодах его развития. Используемые источники водоснабжения должны обеспечивать соответствующее качество воды для бытовых и технических целей. Территориальная рассредоточенность объектов хозяйствования обуславливает необходимость создания систем водоснабжения различной степени централизации, с увеличением, которой основные сооружения

системы будут функционировать в режиме стабильных нагрузок, следовательно, с более высоким коэффициентом использования [10,55,76,81,88,167].

Рациональное водоснабжение имеет исключительное значение для организации эффективной работы животноводческих ферм и комплексов, где является обязательным обеспечение нормального выполнения производственно-зоотехнических процессов и технологических требований соблюдения противопожарной безопасности, что улучшает условия содержания животных и повышает культуру труда обслуживающего персонала [10,45,111].

Водоснабжение животноводческие ферм и комплексов осуществляется по наиболее распространенной схеме, включающей водозабор с насосной станцией, разводящую сеть и регулирующие сооружения. Как показывают результаты обследования их технического состояния, более половины (55%) из них нуждаются в технической модернизации (в том числе: 32% - рекомендованы на частичную реконструкцию, 12% - требуют функционального расширения и 11% - должны быть восстановлены полностью) [10,69,119].

На сегодняшний день вопрос повышения надежности и эффективности функционирования централизованных систем водоснабжения объектов сельскохозяйственного производства – чрезвычайно актуален. Но реализация производственных процессов в АПК более сложна и технологична, чем тот уровень, который может обеспечить при формировании научно-технической программы комплекс задач, направленных на плановую поэтапную модернизацию вышедших из строя агрегатов и устройств. Строить подход и искать пути решения настоящей проблемы необходимо на более глубокой основе. На основе прогнозирования технического прогресса во всей исследуемой технологии и обосновании системы устройств и механизмов, способствующих улучшению технологичности предлагаемых проектов [150].

Исследование причин технических и технологических сбоев в совокупности с изучением физической природы протекающих процессов является предпосылкой к созданию оптимальных моделей, рациональных технических решений и обогащению производственного опыта, определяющего уровень экономической целесообразности прогнозируемого внедрения [10,69,119,159,211].

Одним из основных элементов систем водоснабжения животноводческих ферм и комплексов является водонапорные башни, аккумулирующие необходимый запас воды. Основным недостатком самой распространённой в сельской местности стальной водонапорной башни системы Рожновского – функциональный отказ из-за намерзания льда на внутренних стенках башни в зимнее время года. При этом происходит не только уменьшение полезного объёма башни, но зачастую и её разрушение. В то же время изучение сбоев в цикле водопотребления показывает, что при скважинных температурах не менее 7°C поступающая в башню из скважины вода имеет достаточный запас тепловой энергии, позволяющий обеспечить нормальную эксплуатацию башни без нараста ледяной массы, даже в периоды отрицательных температур окружающего воздуха.

В этой связи **целью** настоящей диссертационной работы является обеспечение бесперебойного водоснабжения животноводческих ферм и комплексов путем повышения устойчивости металлических водонапорных башен к обледенению.

Объект исследования: процесс обледенения металлических водонапорных башен при отрицательных температурах окружающего воздуха и технические средства для его ограничения.

Предмет исследования: Закономерности обледенения водонапорных башен в условиях воздействия на него эксплуатационных факторов, факторов внешней среды и механизированных устройств.

Рабочая гипотеза: предполагается обеспечить безотказную работу системы водоснабжения животноводческих ферм и комплексов путем снижения объёма и интенсивность нарастания льда в водонапорной башне за счет использования вращающегося от ветротурбины активатора потоков, циркулирующих в объёме водонапорной башни, и привлечения в объём дополнительной энергии.

Методика исследований. Исследования строились на основе математического описания аэрологических явлений, физического моделирования функционально-параметрического состояния водонапорной башни, методов теории теплообменных процессов и положений гидроаэромеханики. Экспериментальные исследования проводили в соответствии с действующими стандартами на основе общепринятых и частных. Обработка экспериментальных данных проводилась методами математической статистики, а также программ Microsoft Excel, MathCAD14, STATISTICA10

Научная новизна работы:

1. Дифференциальные уравнения, являющиеся основой математических моделей процесса обледенения внутренней поверхности монобаковой водонапорной башни и водонапорной башни типа «бак-стойка».
2. Алгоритмы графоаналитических решений полученных дифференциальных уравнений, результатом решения которых являются зависимости радиуса обледенения от времени при различных значениях факторов внешней среды, конструкционных и эксплуатационных факторов.
3. Методики определения установившихся значений радиусов обледенения при фиксированных значениях расхода воды из водонапорной башни, температуры окружающего воздуха и скорости ветра и методика определения мощности дополнительных источников энергии, необходимой

для ограничения объёма льда на допустимом по условиям функционирования уровне.

Практическая значимость работы.

Предложена методика, алгоритм и программа, позволяющая в условиях сельскохозяйственного производства определить скорость и объём нарастания льда для водонапорных башен различной конструкции и геометрических размеров, работающих в реальных погодных и эксплуатационных условиях (программы для ЭВМ № 2015618683 РФ).

Разработан механический активатор циркуляции воды в объёме водонапорной башни, способствующий выравниванию температуры воды по всему объёму башни и вследствие этого более полному использованию тепла приточной воды, ограничивающего объём льда на стенках башни.

Обоснована конструкция водонапорной башни системы водоснабжения животноводческих ферм и комплексов, оснащённая альтернативными источниками энергии, и дана методика расчёта их необходимой мощности для ограничения интенсивности обледенения (патент RU 162119).

Вклад автора в проведённое исследование. Лично автором или с его непосредственным участием предложены методы оптимизации конструкционных параметров и режимов работы водонапорных башен системы водоснабжения животноводческих ферм и комплексов в зависимости от природно-климатических условий окружающей среды, проведены лабораторно-производственные эксперименты, и дано технико-экономическое обоснование внедрения опытного образца в реальное сельскохозяйственное производство.

Внедрение. Водонапорная башня системы водоснабжения животноводческого комплекса, оснащённая предлагаемыми техническими устройствами, повышающими её функциональную устойчивость к обледенению при отрицательных температурах окружающего воздуха, внедрена в СПК колхоз им. Кирова Октябрьского района и КФХ «Демченко

Александр Иванович» с. Дмитриевка Александровского района Оренбургской области.

Результаты исследований используются в учебном процессе ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ при выполнении выпускных квалификационных работ.

Апробация. Основные положения диссертационной работы и результаты исследований доложены и одобрены:

на международных научно-практических конференциях «Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов АПК» (2008 г. - 2017 г., г. Оренбург); «Аграрная наука и образование в условиях становления инновации» (2012 г., г. Оренбург); «Состояние, перспективы экономико-технологического развития и экологически безопасного производства в АПК.» (2010 г., г. Оренбург); «Вопросы науки и техники» (2012 г., г. Новосибирск); «Техника и технологии пути инновационного развития, Современные материалы, техника, технология» (2011 г., 2013 г., 2014г., г. Курск); «Наука и образование», Современные научные исследования: «Инновации и опыт» (2014 г., г. Екатеринбург); «Инновации, качество и сервис в технике и технологиях» (2014 г., г. Курск);

на II Международной молодежной научной конференции «Молодежь и XXI век» (2010 г., г. Курск); инновационном-промышленном форуме «Всероссийская научно-практическая конференция» (2010 г., г. Уфа); LI международной научно-технической конференции: «Достижения науки - агропромышленному производству» (2012 г., г. Челябинск).

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается высоким уровнем сходимости полученных в результате теоретических исследований режима работы водонапорной башни с результатами экспериментальных исследований эффективности обеспечения надежности и эффективности функционирования водонапорных

башен при критически низких температурах окружающего воздуха и возможности реализации в данных условиях ресурсосберегающего технологического процесса.

Степень разработанности темы: Достаточно интересны и уникальны технические и теоретические решения блокирования процесса льдообразования, представленные в работах последних лет В.С.Кошмана, В.Г. Петько и А.Б. Рязанова. Однако анализ функциональных схем технических разработок для замедления процесса льдообразования выявил ряд существенных недостатков, которые не позволяют использовать их на практике.

Публикации. Результаты исследования опубликованы в 15 научных трудах, в том числе 10 публикаций в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получено три патента на изобретения и один на полезную модель, а так же свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 4 главы, общих выводов и списка литературы, изложена на 137 страницах машинописного текста, включая 61 рисунок, 6 таблиц и библиографический список из 211 наименований.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Отраслевая специфика развития систем сельскохозяйственного водоснабжения

Для результативной деятельности системы водоснабжения животноводческих ферм и комплексов необходима механизированная система водоснабжения [58], обеспечивающая нормальное выполнение производственно-зоотехнических процессов (Приложение 1,10). Однако, как показал анализ, на животноводческих фермах в большинстве случаев имеет место нарушение технологического режима и при удалении навоза, и при собственно доении коров, что не позволяет затягивать установленные зоотехнические сроки. Так усредненные потери продукции только из-за нарушения поения составляют 3%, из-за кормления – 2%, доения - 2%, охлаждения молока – 2,5%, навозоудаления – 1%. Это свидетельствует о необходимости скорейшего развития инновационных средств технического обеспечения направленного на реализацию мероприятий по предотвращению технологических сбоев [9,74,90,105,120,206].

Особенно важно исключить отклонения от норм хозяйственно-питьевого водопотребления населенных пунктов Российской Федерации, составляющих от 126 до 350 литров в сутки в зависимости от степени благоустройства районов жилой застройки. Однако в отдельных сельскохозяйственных и поселковых районах севера и Сибири дефицит водоснабжения составляет в среднем около 40...80 литров в сутки [10,76,105,119].

Режим водопотребления в сельскохозяйственном населенном пункте характеризуется нестабильностью расходов, с коэффициентом часовой

неравномерности, достигающим значения 2,5 кратности превышения дневного максимального разбора воды над средним значением суточного расхода. Ночью, наоборот, расход воды резко сокращается, что имеет свои отрицательные последствия, связанные с эксплуатацией буферных емкостей в зимний период [76,105,159,195,196].

Необходимо отметить, что, несмотря на инновационность идеи системно-технологического решения проблемы водоснабжения за счет частотного регулирования электропривода электронасосов, его серийное внутриотраслевое использование проявило ряд недостатков [161]. Наиболее значимые из них связаны с высокой стоимостью ЧРП большой мощности. Кроме того при использовании ЧРП отключение электроэнергии приводит к прекращению водоснабжения потребителей. Не возможно также создать запас воды на случай пожара. На пониженных частотах вращения насос работает не в номинальном режиме, при этом растут потери энергии. Большинство моделей ЧРП являются источником помех. В то же время для обслуживания частотных преобразователей необходим высококвалифицированный персонал, подготовка которого является специализированной и требует соответствующих финансовых вложений, что повышает уровень проблематичности развития данного технического направления [46,65,145].

В связи с этим, простая замена буферных напорных емкостей системами водоснабжения с частотным регулированием электрического привода не является перспективной, тем более, что на сегодняшний день такие системы не получили широкого распространения [46,133,159,191].

Экономически эффективным и технически рациональным в настоящее время признано направление, связанное с проведением реконструкционных мероприятий и модернизации эксплуатируемых систем водоснабжения в аспекте повышения их технологичности. Учитывая это наибольшее распространение в системе водоснабжения агропромышленного комплекса

Российской Федерации, получили буферные водонапорные башни. С их помощью осуществляется многофункциональный подход к процессу водоснабжения. Это и регулирование напора воды в водопроводной сети, а также создание ее запаса. Выравнивание графика работы насосных станций, обеспечение производственного, хозяйственно-питьевого и противопожарного водоснабжения промышленных объектов, сельскохозяйственных комплексов и населенных пунктов (рисунок 1.1) [57,65,104,111,135,159].

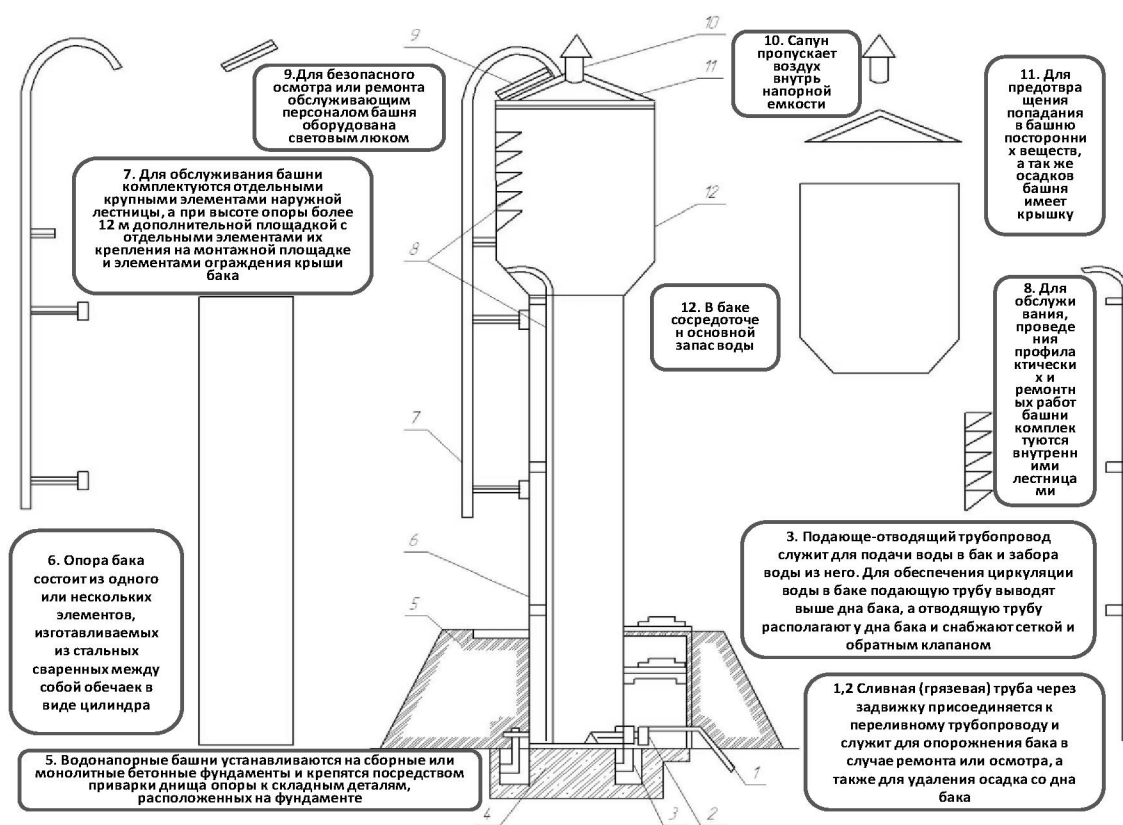


Рисунок 1.1 – Проектные составляющие водонапорной башни (ВБР):

1 – грязевая труба; 2 – труба наполнения башни; 3 – закладные детали; 4 – фундамент; 5 – земляная насыпь; 6 – опора; 7 – наружная лестница; 8 – внутренняя лестница; 9 – световой люк; 10 – сапун; 11 – крыша бака; 12 – льдоудержатели; 13 – бак

Принципиально водонапорная башня, как монтажное сооружение представляет собой водонапорный резервуар, располагающийся на искусственной опоре. Высота башен колеблется от 8 до 30 метров, а вместимость ее внутренней полости составляет 15...20 % суточного расхода воды заявленного потребителя. Ствол (опору) башни выполняют из кирпича, железобетона или изготавливают из стали, в редких случаях из дерева [51,55,76,88,136,159].

В сельской местности Оренбургской области широкое распространение получили стальные водонапорные башни, вследствие того, что обладают полной водонепроницаемостью баков, малой массой и заводским изготовлением деталей, обеспечивающих оперативно быстрый монтаж их на месте строительства. Кроме того, башни данного типа привлекают хозяйственников своей сравнительной дешевизной, а также высокой сейсмостойкостью [72,115,129,152,183].

При разработке проектно-параметрических и принципиальных схем элементов конструкции типизированных водонапорных башен учитывался весь спектр факторов, характерных для сельскохозяйственного производства, включая монтажно-технологические особенности для сельской местности, жесткие условия эксплуатации и возможность расширения функционального диапазона [76,119,136,167].

Следует отметить, что сварная листовая конструкция, состоящая из цилиндрической обечайки с конической крышей, цилиндрической водозаполняющейся опорой и днищем оптимизирована и хорошо приспособлена для закрепления на монолитном железобетонном фундаменте посредством закладных и соединительных деталей [68,69,159].

Для термоустойчивости коммуникаций и сбалансированности конструкции нижняя часть опоры обсыпается местным грунтом на высоту 2,5 метра над опорной поверхностью. Подъем на насыпь обычно осуществляется по железобетонной лестнице. Поскольку конструкция проектировалась для

специфических условий сельскохозяйственной местности, авторами изобретения предусматривалась возможность размывания откоса, а соответственно и технология защиты от данного явления посредством бетонного лотка, устроенного в насыпи под выпуском сигнальной трубы [23,76,159].

С точки зрения инженерно-технического обслуживания характерным является то, что рядом с башней оборудуется колодец, служащий для размещения водопроводной арматуры. На отводящей трубе предусмотрен отвод с задвижкой и муфтовой головкой для сброса воды при производстве плановых и аварийных откачек, а также, с целью непосредственной подачи воды в передвижные ёмкости [23,76,159].

Для наполнения водонапорной башни служит подводящая труба, по которой вода от насосной станции поступает в верхнюю часть ее опоры. Питание водопроводной сети осуществляется с помощью отводящей трубы из нижней части опоры. Однако в период низких температур велик риск ее замерзания, что приводит к прекращению функционирования всего гидросооружения [69,136,159].

Несомненно, что высокую технологичность насосной установки обеспечивает автоматическое управление, когда срабатывает система датчиков нижнего и верхнего уровней. Однако жесткость климатических условий зимнего периода предполагает необходимость создания предохранительных устройств: либо конструктивно-простых в виде переливных труб, выведенных на наивысший уровень бака-накопителя, либо установки электронных систем весового или объемного мониторинга. Это значительно повышает себестоимость, как отдельных технических изделий, так и всего проектного гидросооружения [23,135,159].

Абсолютно достоверно, что водонапорные башни наиболее эффективно обеспечивают оптимальный режим водоснабжения потребителей среднего и малого объемов водопотребления, которых особенно много в

сельском хозяйстве. А при сильной их рассредоточенности организация водоснабжения с использованием водонапорных башен данного типа является максимально целесообразной [55,76,88,135,159].

Непосредственное включение насоса в сеть без башни в условиях сильной неравномерности расхода привело бы к ненормальному режиму работы насоса с недостаточным напором или, наоборот, с малой подачей и чрезмерным давлением. На такие режимы работы и насосы, и сеть водоснабжения не рассчитаны, при этом в сети происходили бы глубокие перепады давления, перебои в подаче воды, резко возросло бы потребление электроэнергии. Включение в сеть водоснабжения водонапорной башни позволяет насосу и потребителям воды действовать по своим графикам, причем насос всегда работает в расчетном, наиболее выгодном и правильном режиме [76,87,135,159,197].

1.2 Анализ влияния фактора низкой температуры окружающего воздуха на надежность системы водоснабжения животноводческих ферм и комплексов

1.2.1 Общая характеристика процесса образования льда в баке водонапорной башни

По мнению ведущих экспертов в области развития систем водоснабжения водонапорные башни наряду с достоинствами, обладают рядом существенных недостатков. Проблемой при эксплуатации водонапорной системы является нарушение работы водонапорной башни в зимний период, вызванное сбоем в цикле водопотребления. Это и застой воды, отказ датчиков уровня, протечки и переливы. Выход из строя датчиков уровня, вследствие обледенения и некорректной работы автоматики

приводит к переполнению емкости башни и обмерзание ее как снаружи, так и внутри. Это является недопустимым, так как наросты ледяной массы снаружи влекут за собой падение конструкции, а замерзание внутреннего объема ведет к разрушению целостности бака. Уменьшается вплоть до нуля ее полезный объем и, если толстым слоем льда покрывается поверхность воды в емкости, может произойти ее разрыв под давлением, развиваемым нагнетающим воду насосом [68,128,135,159,204].

Как известно, замерзание представляет собой кристаллизацию жидкой воды в твердую фазу, то есть в лед. Это фазовое изменение становится возможным, когда температура воды опускается ниже 0°C , в результате происходит «ядрообразование» (кристаллообразование). С началом образования ядер начинается рост кристаллов льда. Поскольку для ядрообразования требуется всего несколько градусов переохлаждения, рост кристаллов льда может происходить при минимальном переохлаждении. Интенсивность кристаллообразования зависит от скорости отбора теплоты. При этом объем воды в процессе замерзания увеличивается на 11 процентов [54,84,147,157].



Рисунок 1.2 – Конфигурация внешнего обледенения водонапорных башен

Необходимо отметить, что процесс льдообразования в резервуарах подобного типа является следствием охлаждения воды, в которой

присутствуют так называемые «ядра». В этом случае, как показывает практика, вполне реально определить количественные зависимости толщины и скорости намораживания льда от условий охлаждения воды и установить, таким образом, степень влияния отдельных факторов на этот процесс [47,54,84,157,174].

Особенностью водонапорных башен как технических систем, взаимодействующих с низкотемпературным ветровым потоком, является возможность альтернативного пути развития конструкции, определяющего их уровень технологичности и функциональной реализации. Подобно процессам характерным для холодильного оборудования в них - башнях льдообразование почти всегда протекает в условиях, когда имеются необходимые предпосылки для возникновения кристаллов льда. Образование твердой фазы из жидкой начинается только в отдельных точках — центрах кристаллизации. В свою очередь, образование первичных центров кристаллизации происходит при переохлаждении жидкости в емкости, то есть при разности температур между температурой плавления твердой фазы и температурой, при которой выделяются первые кристаллы. Поскольку возникающие группировки (диспергированные кристаллы) с упорядоченным размещением молекул, близким к структуре кристаллов твердой фазы, неустойчивы, процесс образования элементов кристаллической структуры реализуется только при переохлаждении емкости, где эти группировки в соответствии с квазикристаллическим строением жидкости непрерывно разрушаются под воздействием теплового движения молекул. Когда температура жидкости становится ниже точки плавления льда, воздействие теплового движения молекул уменьшается [31,61,100,174,178,179,210].

Однако физическая природа кристаллообразования такова, что эти группировки, представляющие собой только несколько молекул с правильной кристаллической ориентировкой, остаются неустойчивыми и в условиях переохлаждения. Кристаллическая группировка становится

устойчивой только тогда, когда в ней содержится несколько сот молекул. Образование такой группировки требует содержания в жидкости твердых частиц, что характерно для поверхности раздела жидкости и твердой стенки резервуара, так как здесь имеется особая молекулярная пленка, обладающая свойствами объемной ориентации, отличающими ее от остальной массы жидкости в водонапорной башне [53,72,154,174].

При движении воды у охлаждаемой стенки первые кристаллы выделяются в виде тонкого слоя льда, так как у нее находится наиболее переохлажденная пленка жидкости. Более того, когда теплопередающая стенка по структуре своей поверхности приближается к структуре кристаллов льда теплопередача через разделяющую поверхность проходит наиболее интенсивно. А это условие практически идеально выполняется посредством шероховатых металлических листов для изготовления башен, при интенсивном охлаждении создаются максимально благоприятные условия для образования первых кристаллов льда, что нельзя сказать о гладких и полированных панелях при медленном их охлаждении в процессе теплообмена [4,53,72,106,140,154,168,174].

Учитывая специфику изменения плотности воды, под влиянием температурного фактора, логично выдвинуть гипотезу о конфигуративных закономерностях и уровнях нарастания льда во внутренней полости стальных водонапорных башен, заключающихся во взаимодействии разноплотных потоков жидкости, при бессистемном энергообмене в стационарном замкнутом объеме эксплуатируемой емкости [66,84,85,107,114,154,165].

Две энергонесущие системы, изменяя температуру жидкости, в какой-то момент создают одинаковую плотность в ее разнотемпературных слоях, конвективное движение которых замедляется или прекращается совсем, создавая условия для быстрого образования ядер и дальнейшего развития процесса кристаллизации льда. В этот момент в соответствующих координатах емкости необходимо исключить замедление движения воды и ее

переохлаждение. Поскольку использовать скважинный энергоресурс в ночной период достаточно проблематично и при полном (кольцевом или диффузорном) льдообразовании нецелесообразно, актуализируется вопрос реализации потенциала дополнительных источников энергии. Особое внимание следует обратить на характерные для региона пользователя стальными водонапорными башнями режимно-климатические факторы [31,35,72,84,85,170,174].

Необходимо отметить, что для территории Оренбургской области наибольший научный и практический интерес представляет ветровой режим. А исследование технологий температурной стабилизации буферных емкостей в системах централизованного водоснабжения при резко переменном графике водопотребления требует как создания научных основ, так и достоверного технико-экономического обоснования форм и методов внедрения конструкций модернизированных башен [138,159].

Изучение специфики эксплуатации водонапорных башен при отрицательных температурах окружающего воздуха показало, что намораживание льда в них развивается как процесс теплообмена с граничными условиями четвертого рода, при которых необходимо решать задачи о теплообмене двух сред (твердое тело - жидкость) при фазовом переходе на границе их раздела, то есть корпусной конструкции емкости [5,96,116,122,141,149,159].

Полученные учеными РФ зависимости толщины образовавшегося льда на внутренней стенке водонапорной емкости башни ВБР-15У-10 при различных температурах воздуха и скоростях ветра подтверждают гипотезу уменьшения времени замерзания водонапорной башни, вследствие, увеличения скорости ветра [60,137,139,159,202].

В то же время использование энергии ветра, преобразованной с помощью ветроустановок в тепловую энергию, для подогрева воды в ёмкости открывает возможность снижения темпа её обледенения. [21,76,189,200].

Всё это требует детального изучения ветроэнергетического потенциала в местах размещения водонапорных башен сельскохозяйственного назначения, которые, как было упомянуто выше, – преимущественно металлические.

1.2.2 Анализ скоростного режима и интенсивности воздушных потоков на территории Оренбургской области

Основным фактором, определяющим целесообразность применения ветровых энергетических установок для энергоснабжения автономных объектов, сельхозпредприятий и фермерских хозяйств являются энергетические и аэрологические характеристики ветра [132]. В связи с этим при проектировании и внедрении энергосистем особое внимание уделяется мониторингу местности в аспекте изучения динамических характеристик и статистических закономерностей ветровых потоков с учетом климатических особенностей, ландшафтной специфики, а также суточных перепадов [21,28,192,193].

Собственно вопрос внедрения ветроэнергетических установок сельскохозяйственное производство, в том числе для гипотетического их использования для подогрева воды в баках водонапорных башен, достаточно сложен и неоднозначен. Так, например, исследование аэрологической специфики воздушных потоков над территорией Оренбургской области показало наличие достаточного потенциала ветровых энергетических ресурсов, для автономного энергообеспечения фермерских хозяйств на базе ветроэнергетического агрегата. Но, в связи с неравномерным распределением скоростей ветра над районами области и существующей вероятности штилей, затрудняется энергообеспечение фермерского предприятия адекватно технологическим операциям в пиковых нагрузках, в течение суток и года. То есть процесс энергообеспечения вполне реально может перейти в режим прерывистой реализации. Поэтому использование ветровой энергии для

подогрева воды в буферных емкостях в системах централизованного водоснабжения должно строиться не только на принципах технологического энергосбережения, но и на природоклиматической энергодостаточности [21,28,76,189,192,193].

Как известно, в ветроэнергетике наибольший интерес представляют собой скорости ветра на высоте от уровня земли до 70 метров, так как в основном ВЭУ используют энергию ветра именно в пределах этих высот [192,205].

Однако для проведения проектных работ и создания устройств с целевым функционалом необходимо знание закона распределения скорости ветра, которой бы удовлетворительно характеризовал распределение исследуемого признака в конкретных физико-географических условиях в пределах точности исходных данных [21,81,138,205].

Одной из важнейших характеристик ветра за длительный период времени является его средняя многолетняя скорость. Так, в Оренбургской области на основе статистических данных [148] были получены средние значения многолетних скоростей ветра, с учетом годового и суточного хода (рисунок 1.3).

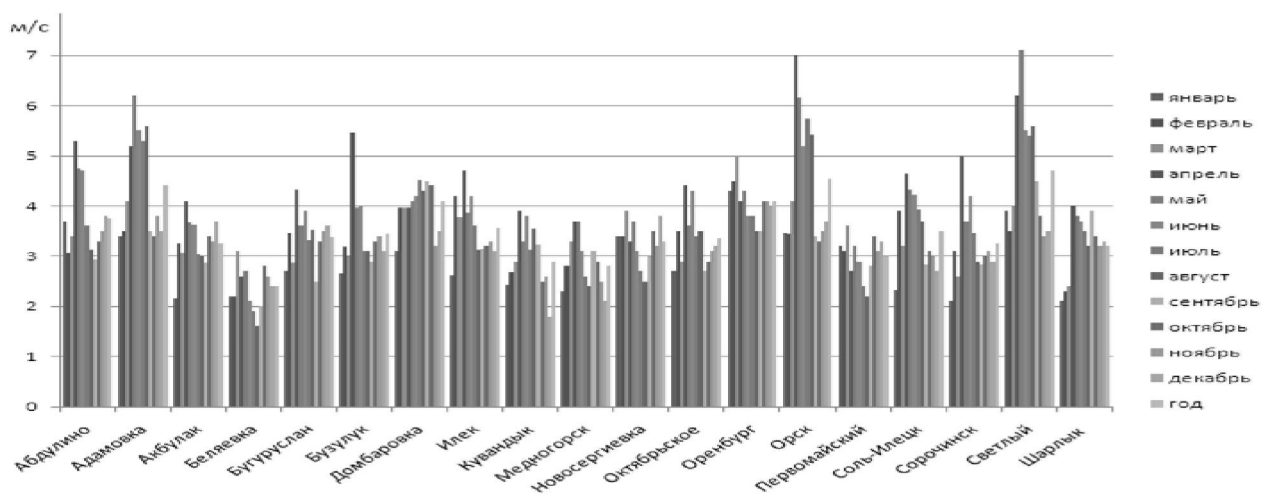


Рисунок 1.3 – Результаты статистических исследований по среднемесячным и годовым скоростям ветра (м/с) на высоте анемометра 10 метров

Из комментария областной гидрометеослужбы по ресурсному анализу региональной ветроэнергетики следует, что поскольку концентрированный ветровой поток в отдельных районах Оренбуржья обладает достаточным энергетическим потенциалом, имеется возможность применять ветроустановки малой и средней мощности. А поскольку в связи с сезонной перестройкой поля давления формируются ветры переменных направлений, ветроустановки должны быть оснащены системами ориентации на ветер [146,149].

Средние скорости ветра на территории Оренбургской области, по данным метеостанций за последние 25 лет достигают до пяти метров в секунду. Неравномерность рельефа ведет к искажению направления потока ветра у поверхности земли, поэтому с учетом Европейского опыта в районах Оренбуржья могут практиковаться ветропарки с мало- и среднемощными ветроустановками, основными представителями которых являются такие компании, как Euro Wind, Atlantik Orient и другие [1,146,149,203].

Статистические исследования подтверждают факт наличия сильных ветров (более 15 м/с), с вероятностью не превышающей 3%. Значимое влияние на скорость ветра оказывают ландшафтные характеристики. Так например, если в котловинах наиболее вероятны ветры небольших скоростей – 1-2 м/с (31%) и 3-5 м/с (55%), а вероятность ветров со скоростями 6-10 м/с равна около 11%, то на более открытых участках склонов гор вероятность таких ветров составляет соответственно (14%), (45%) и (33%) (рисунок 1.4) [1,146,149,190,203].

Кроме того, при оценке ветроэнергетического состояния Оренбургского региона были учтены штилевые периоды и вероятность их повторения (рисунок 1.5).

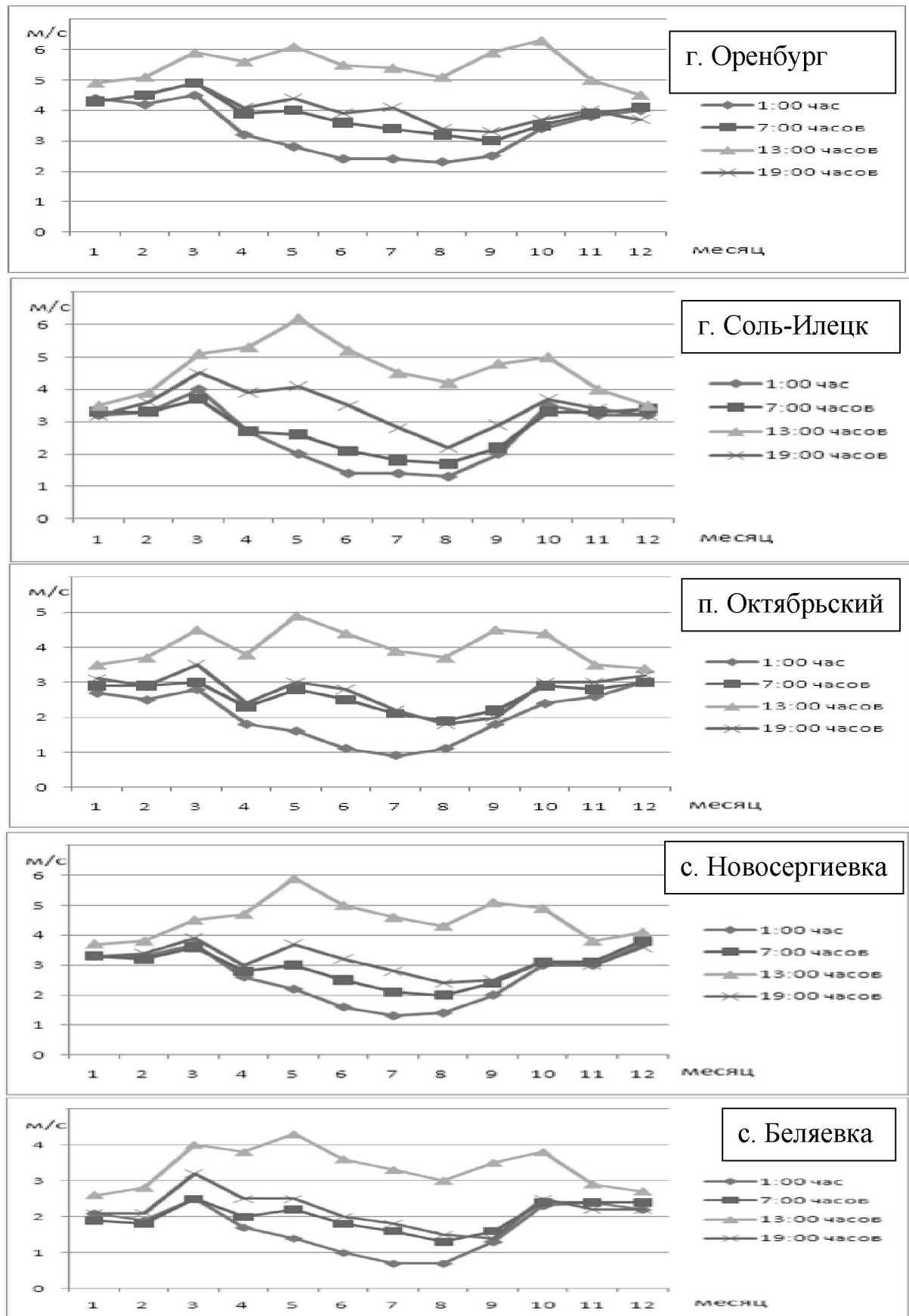


Рисунок 1.4 – Результаты статистических исследований суточных изменений скорости ветра в течение года

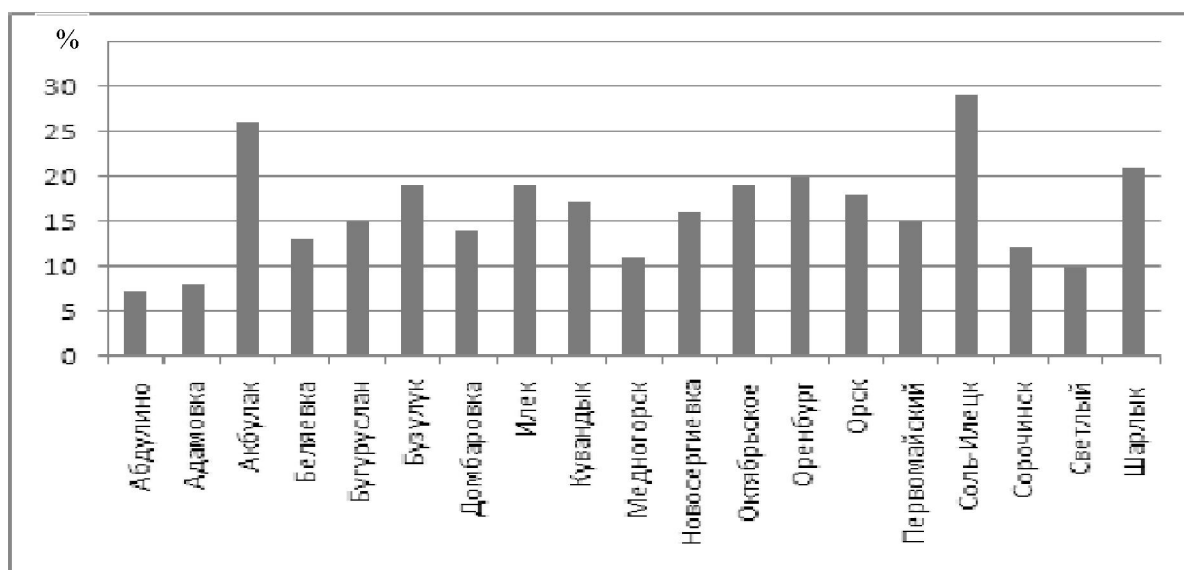


Рисунок 1.5 – Повторяемость штилей в течение года по районам Оренбургской области

Спецификой Оренбургской области является развитие сельскохозяйственных предприятий с хорошо сформированной технической, технологической и кормовой базой на территориях где превалирует ветровые потоки с небольшими скоростями.

Следовательно, при необходимости привлечения и использования дополнительного энергетического потенциала для ограничения льдообразования внутри водонапорных ёмкостей вполне целесообразно применение ветроэнергетических установок малой и средней мощности. [47,63,65,76,81,152,159,192,203].

Проведенное районирование территории Оренбургской области на высоте 10 метров над уровнем земли по средним скоростям ветра на этих высотах позволило выделить три зоны с различным распределением ветровых потоков: зона А – средняя скорость ветра от 4 до 5 м/с; зона Б - средняя скорость от 3 до 4 м/с; зона В - средняя скорость ветра от 2 до 3 м/с.

При анализе изотахических секторов (Приложение 3) установлено, что движение воздуха даже на десятиметровой высоте достоверно обеспечивает функционирование специализированных ветроагрегатов, разработанных как

в России, так и за рубежом в соответствии с классификационными признаками для конкретного производственного объекта индустриального или агропромышленного комплекса (рисунок 1.6) [205].

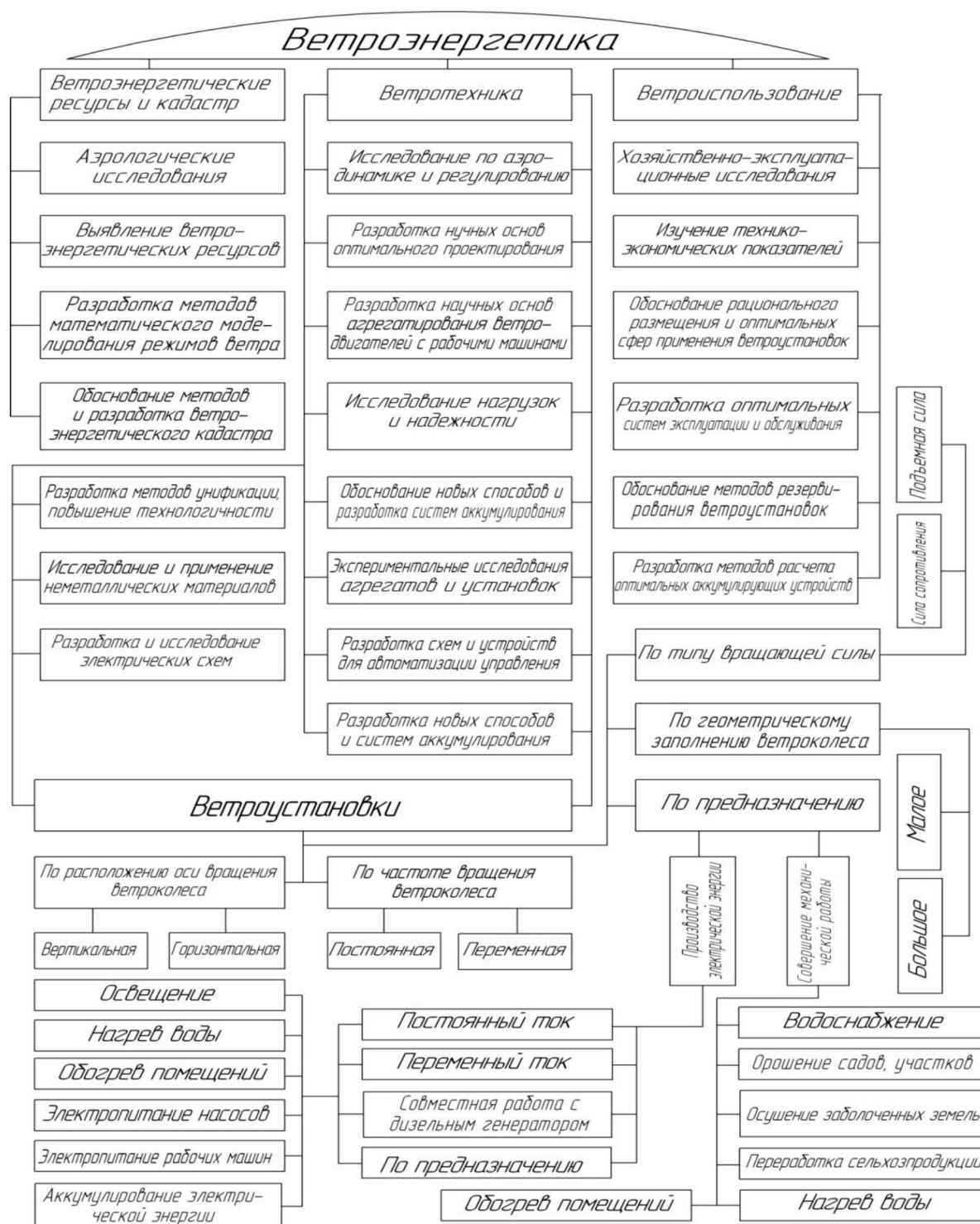


Рисунок 1.6 – Классификационная структура системы ветроэнергетического обеспечения производственных объектов АПК

В настоящее время провести расчет и определить количество ожидаемой выработки энергии в предполагаемом месте расположения ветроэнергетической установки принципиально сложности не представляет. Методически для этого должен быть соотнесён класс открытости метеостанции с известными ветровыми условиями и класс собственно участка для ветроагрегата (Приложение 2).

В связи с этим, в рамках плана настоящей диссертационной работы был осуществлен технико-экономический анализ ветроэнергетического потенциала Оренбургской области.

Как показали технико-экономические исследования, проведенные в различных районах Оренбургской области по схеме ранжированного удаления от областного центра (рисунок 1.7) [155,209] наиболее рентабельные и технологичные технические решения реализуются посредством механизмов и устройств, использующих ветровую, радиогенную или комбинированную энергию.

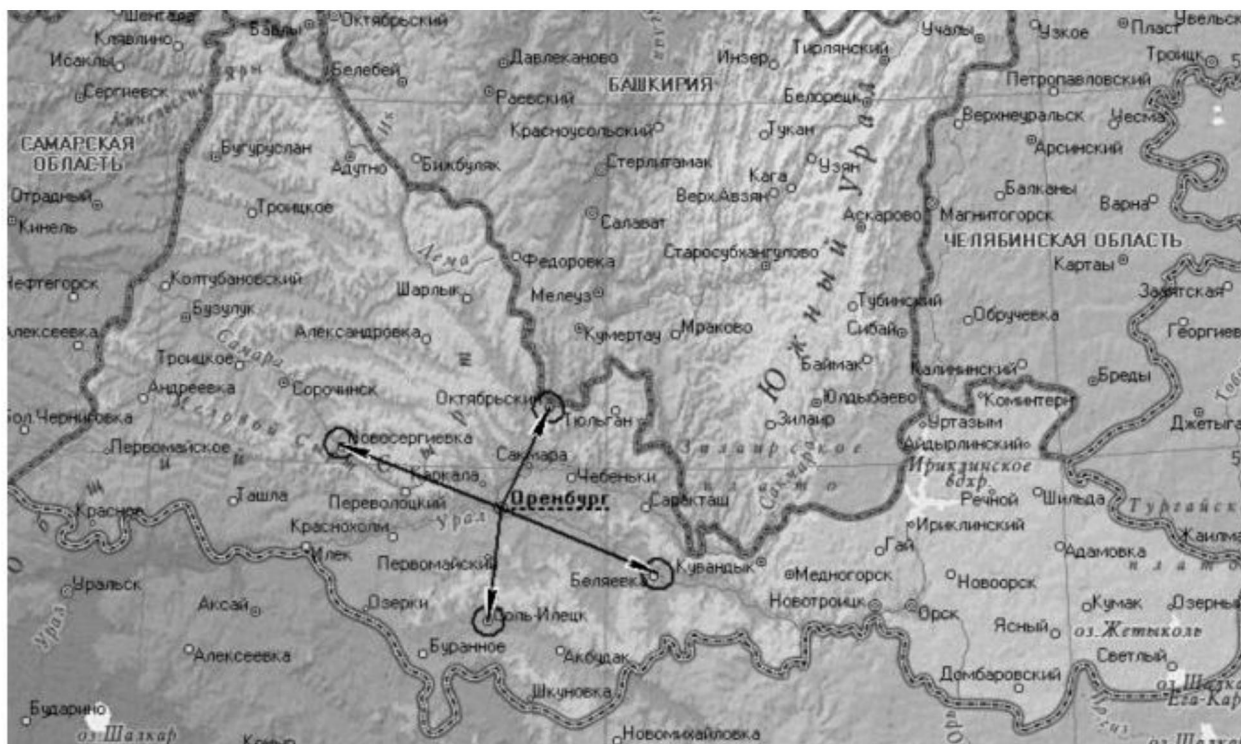


Рисунок 1.7 – Географическое расположение центров проведения аэрологических исследований на территории Оренбургской области

Во всех ветровых зонах исследования проводились на высотах 10, 20, и 30 метров над поверхностью земли. В результате было определено, что независимо от ветровой зоны на высоте 10-30 метров наиболее распространенная скорость воздушного потока 3-6 метров в секунду, что составляет 65-75% вероятности для различной ландшафтной специфики. Ветры скорость, которых меньше 1 метра в секунду наблюдались в 4-13% случаев на высоте 10, 20 и 30 метров.

Более сильные ветры повторяются реже адекватно увеличению их скорости. Скорость ветра более 7 метров в секунду на высоте 10, 20 и 30 метров в 10-26% случаев. На высоте 20 и 30 метров наибольшая повторяемость приходится на скорости ветра 3-5 м/с. Значение моды распределения уменьшается от зоны А к зоне В. При этом на диапазон от 5 до 9 метров в секунду приходится на модальное распределение удельной энергии ветра [1,192].

Так было выявлено, что ветроэнергетический ресурсный диапазон в территориальном пространстве Оренбургской области на высоте 10 м в среднем составляет от 105 до 195 Вт/м², на высоте 20 м - от 145 до 245 Вт/м², на высоте 30 м - от 200 до 325 Вт/м².

Таким образом, можно предположить, что уровень энергии ветровых потоков будет достаточным для развития систем ограничения льдообразования буферных емкостей, эксплуатируемых в периоды отрицательных температур. Весь вопрос в создании технической системы воздействия на конвекционные водяные слои внутри башен и разработка методики обоснования конструкционно-режимных параметров устройства, трансформирующего энергию воздушных потоков в тепловую энергию воды. [21,49,128,136,165,205].

1.3 Анализ существующих средств и способов для замедления процесса льдообразования в гидросооружениях башенного типа

Для устранения ледяной массы на практике нередко случаи размораживания водонапорных башен открытым огнем, у подножия ее опоры. Однако устранение обледенения иногда достигается, но так как высокие температуры (до 1000 °С) вызывают различные тепловые эффекты, такие как: деформации, образование трещин в сварных соединениях, способ технически неприемлем.

Концепция повышения эффективности работы гидросооружений башенного типа, при отрицательных температурах окружающего воздуха предполагает развитие двух проектных направлений. Прежде всего, необходимо уделять внимание выявлению принципов, лежащих в основе конструирования сооружений неподверженных разрушениям образовавшимся льдом. Более того, при создании базовых физико-математических моделей буферных емкостей, эксплуатируемых при низких температурах окружающего воздуха, следует разрабатывать методы оптимизации и определять достоверные пути схемной реализации устройств для ликвидации последствий льдообразования. В основе другого направления лежат процессы улучшения технологичности уже внедренных конструкций посредством их частичного переоборудования или полной модернизации, с целью уменьшения скорости образования льда и повышению функциональной устойчивости [18,19,20,41,42,159].

Необходимо отметить, что в обоих случаях исследователи, изучая природу процесса льдообразования и закономерности его разрушения при различных температурных режимах, разрабатывают функциональные схемы с последующей их технической реализацией в механизмы и устройства, обеспечивающие максимально длительный период замерзания башен [30,54,84,95,100,158].

Актуальность данных исследований достоверна, но вызывает вопрос эффективность инновационных разработок при использовании их в сельскохозяйственном производстве с нестабильным режимом водопотребления [13,119].

Так вопросами снижения темпа нарастания льда на внутренних стенках водонапорных башен занимались отечественные ученые А.В. Куралесин, В.Е. Тройкин, В.Н. Уметский, Ю.А.Павлов, которые предложили использовать перепад уровня воды в емкости для управления диафрагмой из упругоэластичного материала и поплавком тороидальной формы, установленным коаксиально центральной стойке. Колебания уровня воды в емкости вызывает вертикальные движения поплавка, вследствие чего диафрагма растягивается или сжимается. Образовавшаяся на ее нижней поверхности корка льда трескается, отслаивается и ссыпается в воду. Но это характерно для ранней стадии образования льда, когда его толщина не достигает опасных значений (рисунок 1.8) [19,159,190].

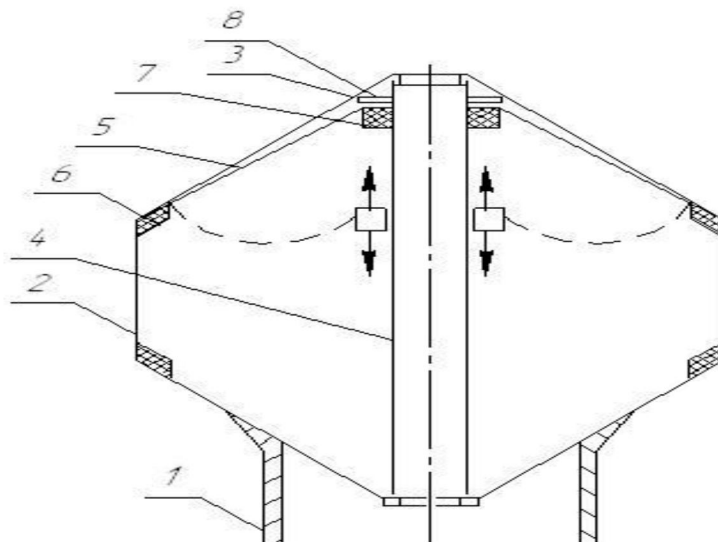


Рисунок 1.8 – Водонапорная башня с диафрагмой из эластичного материала и поплавком тороидальной формы: 1 – опорная стойка; 2 – емкость; 3 – конусная верхняя часть; 4 - центральная распорная стойка; 5 – диафрагма из упругоэластичного материала; 6 – кольцо жесткости; 7 – поплавок; 8 – упорное кольцо

Предложенная конструкция по своей функциональной специфике препятствует быстрому развитию процесса кристаллизации от образованного льда в верхней части башен. В то же время, весь остальной объем бака и опоры остается незащищенным от возможного обледенения.

Л.В. Филатовым разработано устройство для устранения льдообразования в баке напорной башни с заполненной водой колонной, где при нагнетании из скважины в трубопровод вода, с температурой в среднем 4°C , большей частью поступает в бак над опорной колонной. Одновременно часть воды поступает в колонну снизу через зазор между заслонкой и краем отверстия шайбы.

Функция предложенной схемы предполагает перенос теплоты с поступающей водой в бак, что, по мнению автора, способствует замедлению в нем льдообразования. При этом теплота, вносимая с водой в бак 2, способствует устранению в нем льдообразования (рисунок 1.9).

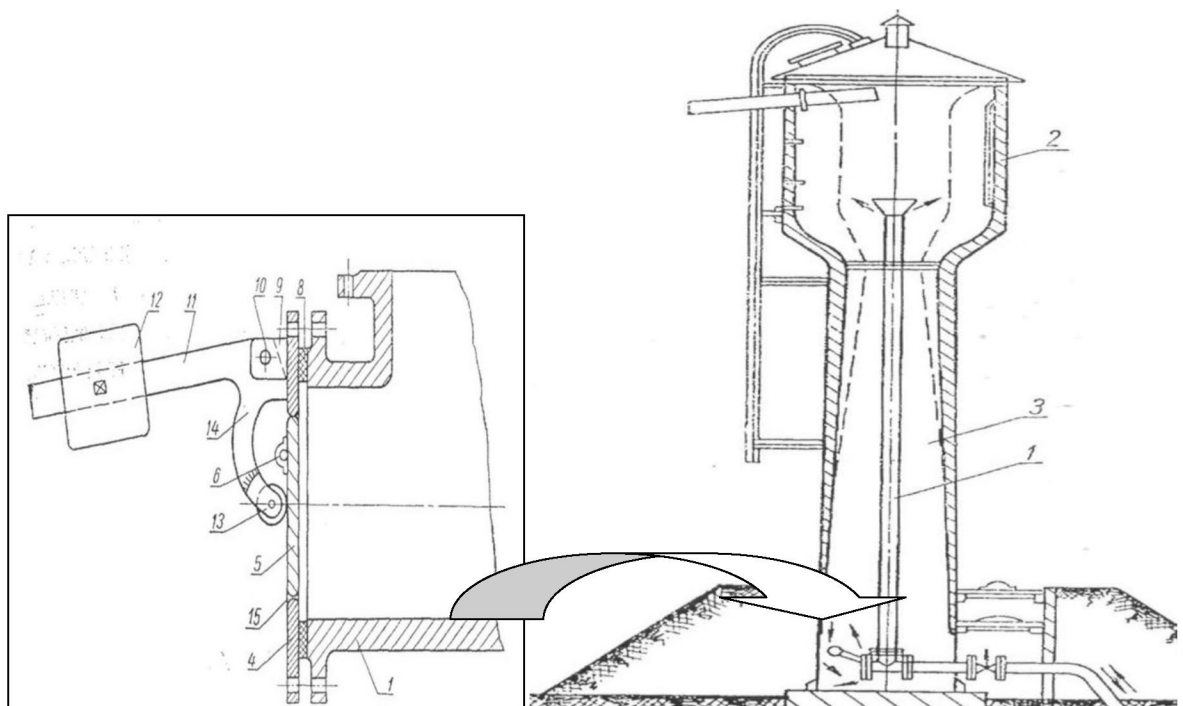


Рисунок 1.9 – Устройство для устранения льдообразования в баке напорной башни с заполненной водой колонной: 1 – трубопровод; 2 – бак; 3 – колонна; 4 – шайба; 5 – заслонка; 6,10 – ось; 7,9 – уши; 8 – прокладка; 11 – угловой рычаг; 12 – противовес; 13 – ролик; 14 – боковой отросток; 15 – зазор

Техническое решение реализует расход воды через трубопровод, в который она попадает преимущественно из колонны, т. е. охлажденная. Легкому открытию заслонки внутри трубопровода способствует противовес, фактически обеспечивающий гидроциркуляцию с тепловым энергообменом в совокупном емкостном пространстве гидросооружения [18].

Однако в периоды минимального водопотребления особенно в ночное время происходит замерзание трубопровода, диаметр, которого в несколько раз меньше диаметра башни. Соответственно верхняя часть трубопровода будет перекрыта льдом, в результате чего, блокируется поступление воды из скважины. В тоже время аварийная подача воды через заслонку внутри колонны может быть заблокирована ледяной коркой в баке, плавка которой осуществляться не будет по причине отсутствия водопотребления, что приводит к вопросам по заявленному уровню функциональности предлагаемой авторами схемы технического устройства.

М. А. Спивак предполагает центральную стойку водонапорной башни интегрировать с напорно-разводящим стояком, а стенки стойки выполнить с отверстиями (рисунок 1.10) [20].

Данное техническое решение указывает на возможность создания противодействия соскальзыванию льда в стояк за счет цилиндрического экранирования, создаваемого стойкой с малыми отверстиями. Поскольку цельный лед с днища всплыть не может, так как образующая нижнего конуса длиннее радиуса цилиндра, а наружный край льда нагружен льдом, образованным на вертикальной поверхности внутренней полости башни в совокупности с массой льда верхнего конуса, можно утверждать, что данная конструкция реализует дополнительную функцию защиты от механических ударных повреждений падающих сверху ледяных фрагментов [159]. Однако в данном случае не предполагается локализация образования льда на внутренних стенках емкости в пределах термоизоляционного слоя, что гипотетически является разрушающим фактором и причиной выхода из строя

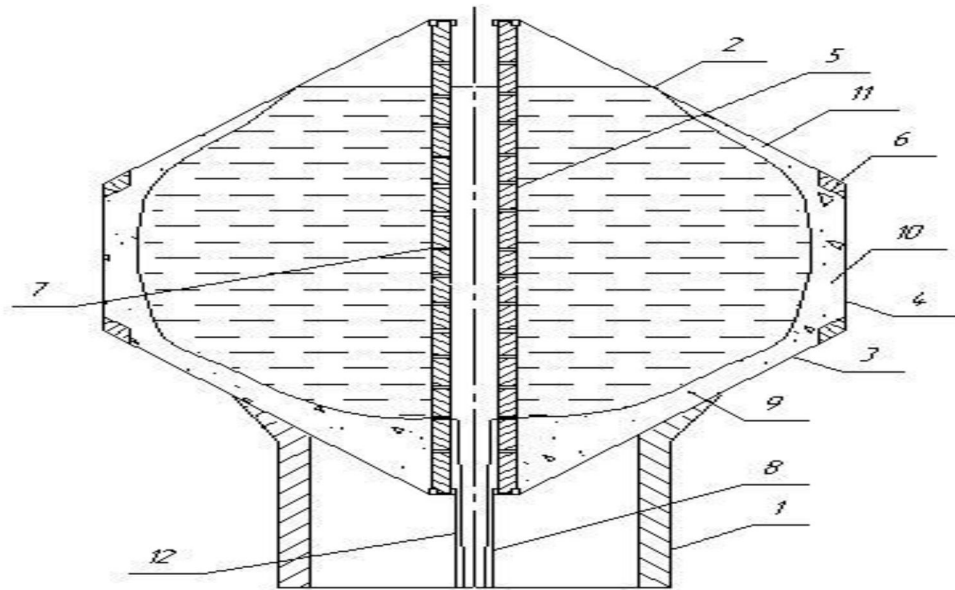


Рисунок 1.10 – Водонапорная башня с перфорированной распирающей центральной стойкой в комбинации с напорно-разводящим стояком: 1 – опора; 2 – верхний конус; 3 – нижний конус; 4 – промежуточный цилиндр; 5 – распирающая центральная стойка; 6 – железобетонные кольца жесткости; 7 – отверстия; 8 – напорно-разводящий стояк из стальной трубы; 9-12 – лед эксплуатируемой емкости, так как увеличенный объем ледяной массы способен вызвать ее разрыв или сильную деформацию.

Своеобразный и достаточно простой способ устойчивости к обледенению водонапорных башен предлагают А.А. Рожновский и В.Д. Смирнов. Технологичность разработанной схемы (рисунок 1.11) основана на поступлении в башню воды через водоподводящий трубопровод с расположенной у основания водозаполненной цилиндрической опоры, в которой под влиянием гидростатического напора в насадке и разности удельных весов теплой и холодной воды происходит отклонение отдельных струй к стенкам опоры. Здесь теплые потоки постепенно охлаждаются, отдавая при этом энергию на обогрев опоры, что в холодное время года препятствует процессу образования льда на ее стенках. Охлаждение сопровождается увеличением плотности воды, что приводит к ее перетоку вдоль стенок опоры и далее через кольцевой зазор под усеченный конус для

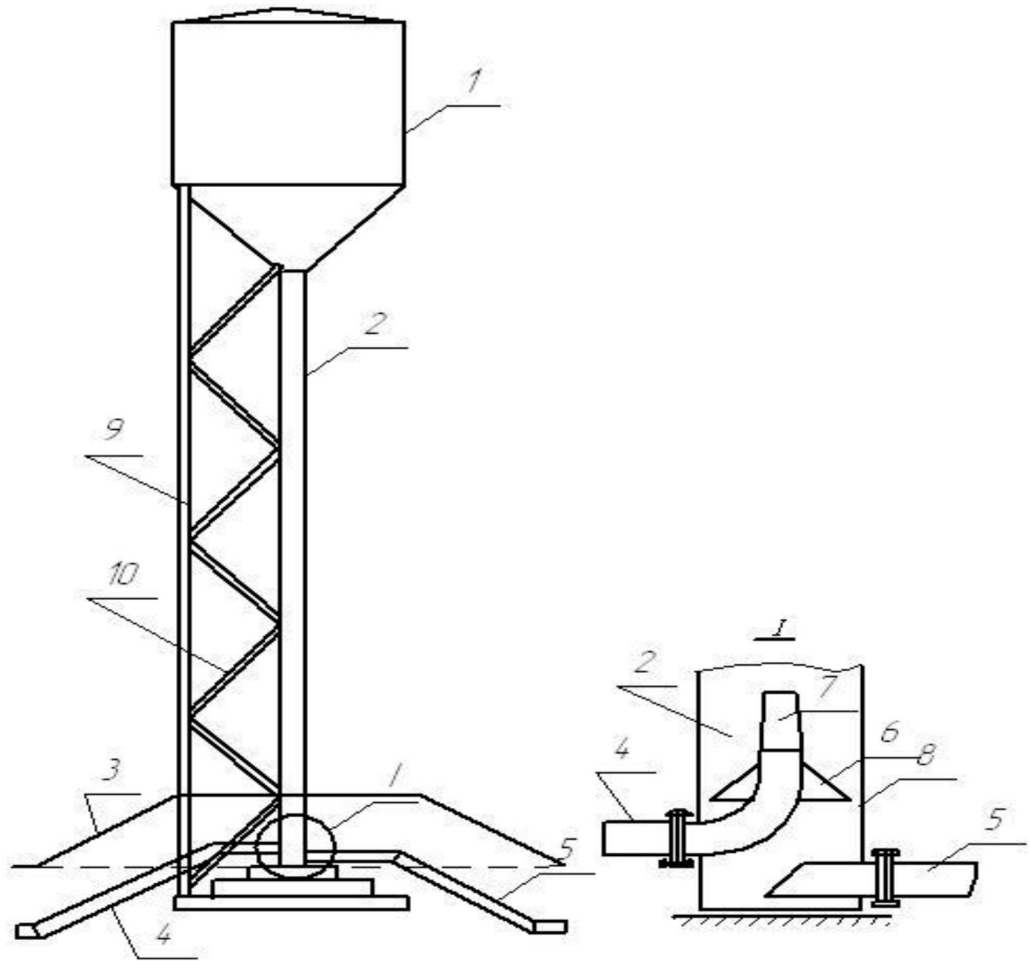


Рисунок 1.11 – Водонапорная башня с гидростатической подачей воды: 1 – бак, размещенный на водозаполненной цилиндрической опоре; 2 – водозаполненная цилиндрическая опора, утепленная в нижней части грунтовой обсыпкой; 3 – грунтовая обсыпка; 4 – водоподводящий трубопровод; 5 – водоотводящий трубопровод; 6 – диафрагма, выполненная в виде усеченного конуса; 7 – гидравлическая насадка; 8 – кольцевой зазор; 9 – вантовые опоры

подачи в водораспределительную сеть по водоотводящему трубопроводу [159].

Вопрос об оригинальности разработанного решения, конечно же, не является основным. Схемы интенсификации конвективного теплообмена реализуются достаточно широко, но в данном случае сложно говорить об технологичности и функциональности водонапорной башни.

Речь идет о том, что перемешивание воды из скважины с более холодной водой в башне происходит достаточно быстро. В результате этого осуществляется нивелирование температур, что слабо препятствует процессу льдообразования и незначимо влияет на уменьшение толщины уже образовавшейся ледяной массы.

Подобные технические решения можно категоризовать как частично препятствующие льдообразованию. Они имеют свою технологическую реализацию и достаточно конструктивно сочетают в себе физику природных явлений и техническое моделирование. В этой связи можно отметить, использование солнечного света, проникающего через пленку из светопроницаемого материала, которой оборудована верхняя часть емкости. Стенки внутри емкости автор – М.А. Спивак [20] планирует окрашивать в светопоглощающие тона. Соответственно, нагреваясь, внутреннее пространство излучает тепло в инфракрасном диапазоне волн (рисунок 1.12). Автор предполагает, что температура, таким образом, внутри емкости превысит на 15-20°C температуру наружного воздуха. Однако, как данная схема будет реализовывать свою функцию в нижней части емкости, где нет такой интенсивности светопоглощения, и как будет она работать в ночной период эксплуатации гидросооружения, остается под вопросом.

Кроме того, элементарные расчеты показывают, что при диаметре бака три метра максимальное количество солнечной энергии составляет около 1,5 кВт. Во-первых, этого недостаточно для поддержания температуры воды выше 0 °C а, во-вторых, такое солнечное излучение наблюдается крайне редко.

Учитывая опыт эксплуатации в Оренбургской области башен с верхнеуровневой подачей воды, и основываясь на результатах трехлетнего периода наблюдений группы исследователей (рисунок 1.13) [159], можно утверждать следующее. Принципиально подача воды в верхнюю часть емкости обеспечивает обновление ее объема в башенном резервуаре, не давая

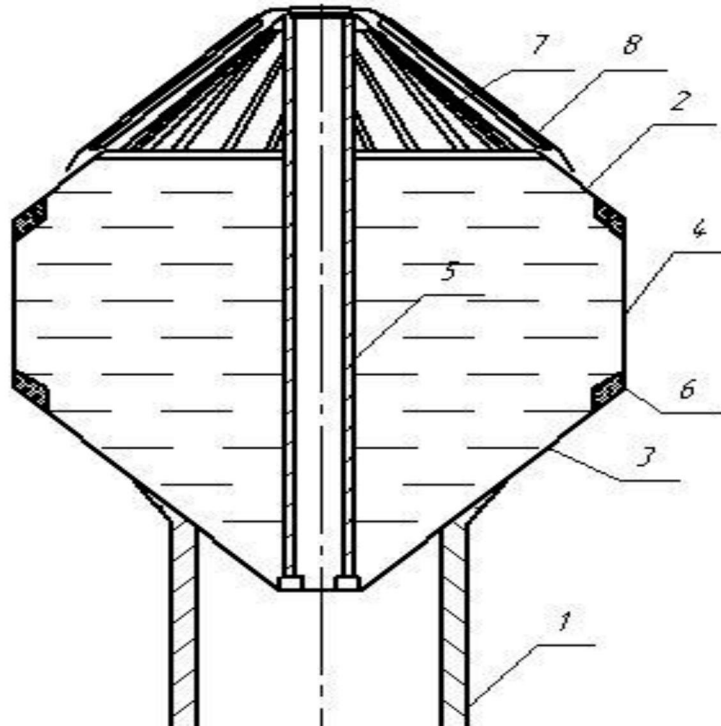


Рисунок 1.12 – Башня с растяжками и верхней частью из светопрозрачного материала: 1 – стойка; 2 – верхний конус; 3 – нижний конус; 4 – промежуточный цилиндр; 5 – центральная распирающая стойка; 6 – горизонтальные кольца жесткости; 7 – растяжки; 8 – оболочка из прозрачной пленки

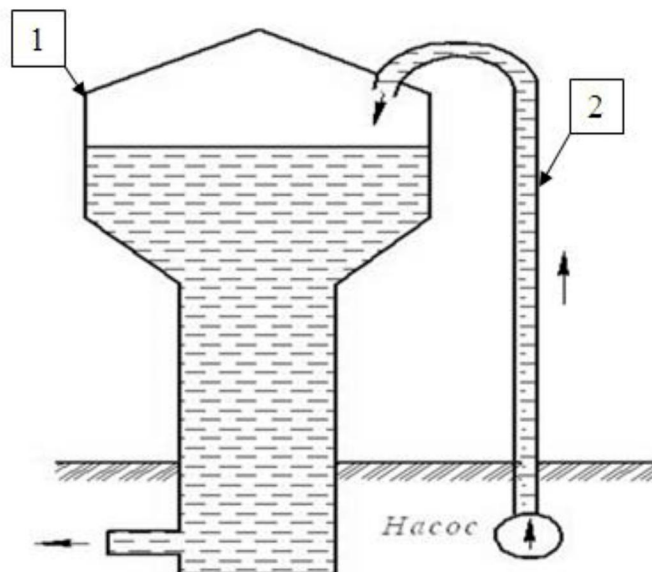


Рисунок 1.13 – Схема подачи воды в верхнюю часть емкости: 1- водонапорная башня; 2 - водоподводящий трубопровод

температуре опуститься до точки замерзания. Однако наружное расположение подающей трубы исключает установку в ней обратного клапана. Следовательно, режимное или аварийное отключение насоса приводит к обратному вращению двигателя. При этом увеличивается износ насоса, значительно возрастают затраты электроэнергии при повторном заполнении подающей трубы.

Вместе с тем известны случаи существенного повышения устойчивости водонапорной башни к обледенению так, например Петько В.Г., Рязанов А.Б. предлагают более полное использование тепла поступающей из скважины воды за счёт циркуляции в результате расположенного по касательной водоподводящего трубопровода (рисунок 1.14) [41,159].

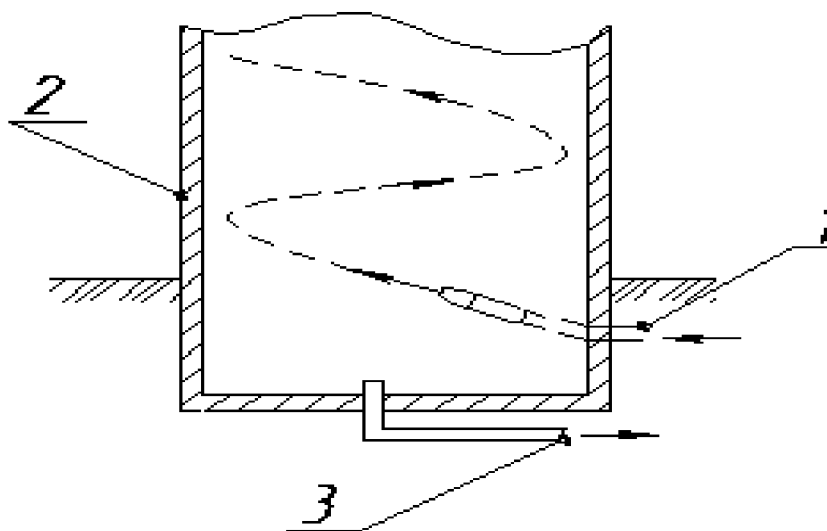


Рисунок 1.14 – Схема подачи воды в водонапорную башню по касательной к ее окружности: 1-водоподводящий трубопровод; 2 – башня; 3 – водоотводящий трубопровод

Гипотетически, вода, поступающая из скважины, практически не перемешиваясь с водой в башне, должна обтекать стенки со льдом, который при этом полностью или частично оттаивает. Однако водяная спираль, образуемая только за счет кинетической энергии скважинной воды, поступающей в башню, не обладает столь значимой энергетикой для

изменения направления движения конвектирующих слоев жидкости и тем более, для создания стабильного функционального режима в условиях отрицательных температур [159].

Несомненно, что сама основа создания устойчивости буферных емкостей к обледенению должна предполагать привлечение дополнительной энергии. Однако в аспекте инженерно-технического подхода необходимо иметь в виду следующее. Ландшафтно-климатические характеристики районов Оренбургской области и ее географическое расположение предполагают возможные к использованию в сельскохозяйственном производстве потенциальные источники дополнительной энергии. Это воздушные потоки с адекватными аэрологическими характеристиками, тепло земных недр, солнечная радиация (рисунок 1.15) [16,35,188].

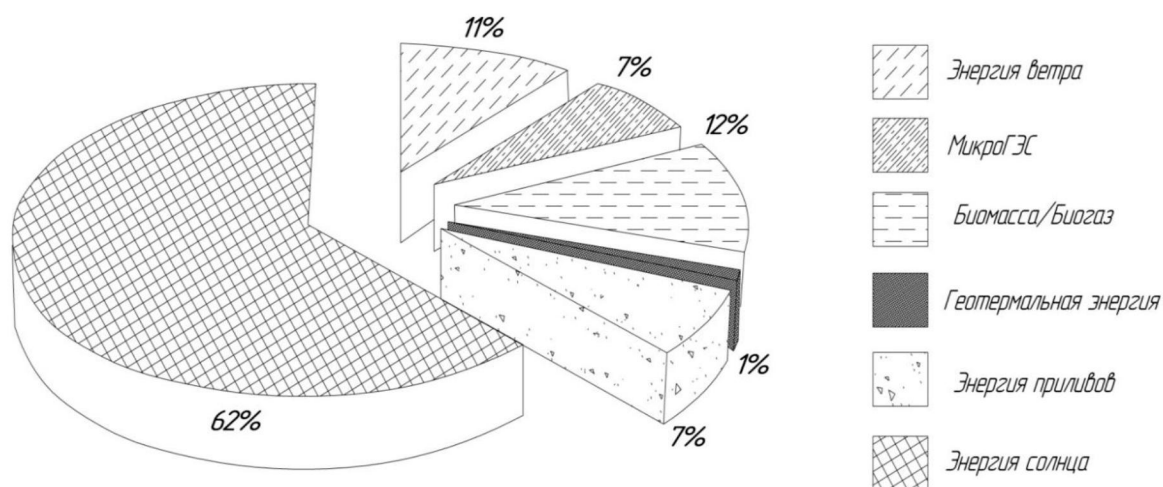


Рисунок 1.15 – Структура рынка альтернативной энергетики по установленным мощностям в России к 2020 году

В связи с вышеизложенным сформулированы **задачи исследования**:

1. На базе анализа проблемы водоснабжения животноводческих ферм и комплексов, разработать и обосновать технические средства, повышающие степень использованию тепла проточной воды для ограничения интенсивности льдообразования.

2. Установить характеристики процесса обледенения во внутренней полости водонапорной башни с дополнительным подземным резервуаром.

3. Обосновать достоверность функционально-параметрической модели водонапорной башни в рамках лабораторного и производственного экспериментов.

4. Дать технико-экономическую оценку способа повышения функциональной устойчивости водонапорных башен для систем водоснабжения животноводческих ферм и комплексов в период экстремально низких температур.

2 РАЗРАБОТКА И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ СРЕДСТВ, ПОВЫШАЮЩИХ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ВОДОСНАБЖЕНИЯ, ПУТЕМ ОГРАНИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ОБЛЕДЕНЕНИЯ ВОДОНАПОРНЫХ БАШЕН

2.1 Конструкторско-технологическое решение интенсификации конвективных потоков в баке водонапорной башни и подвода в него тепла от альтернативных источников энергии

Закономерно, что при постановке цели на повышение устойчивости буферно-емкостных башен, приоритетно сохранение ее принципа функционирования при создании модернизированной модели и натуральных образцов механизмов, обеспечивающих ее технологические преимущества [111,119,143].

Практически все водопотребители считают, что существенным недостатком водонапорных башен является их обледенение в зимний период года. При этом, в первую очередь нарушается работа систем автоматического регулирования уровня воды (датчиков уровней), снижается полезный объем башни и, в конечном итоге, происходит её механическое разрушение [76,136,159].

Следовательно, рационализация параметров водонапорной башни, а также обоснование рациональных технических решений, уменьшающих степень льдообразования, должны проводиться с наименьшим конструкционным выходом за рамки серийного унифицированного производства. При этом должны учитываться условия агропромышленной сферы внедрения и потребительская конъюнктура сельскохозяйственного производства Российской Федерации [13,111,119,159].

Проведённый в предыдущей главе анализ существующих средств и способов повышения устойчивости функционирования водонапорных башен при отрицательных температурах окружающего воздуха показал, что они не в полной мере решают указанную проблему. В то же время отмечаются стремления для повышения устойчивости наиболее полно использовать тепло приточной воды, путём интенсификации конвекции и устранения застойных явлений.

Одним из таких решений, реализующих указанный принцип, является разработанная с участием автора настоящей работы водонапорная башня [42,128] с ветроколесом, установленным на её крышке (рисунок 2.1).

Ветроколесо с вертикальным валом приводит во вращение активатор циркуляционных потоков, выполненный в виде крыльчатки. С его помощью выравнивается температура по всему объёму башни, устраняются застойные явления и тем самым тепло приточной воды не уходит в водопроводную сеть, а в большей степени расходуется на плавление льда или ограничение его накопления. При достаточной мощности ветроколеса оно не только активирует циркуляцию, но и является источником дополнительной тепловой энергии (Приложение 7,8,9,11), суммирующейся с тепловой энергией воды, поступающей в бак, и усиливающей тем самым противодействие накоплению льда [37].

Для согласования механических характеристик ветроколеса и крыльчатки возможна установка между ними редуктора. При интенсивном перемешивании воды обледенение стенок башни начнётся только тогда, когда температура воды, одинаковая в этом случае по всему объёму башни, опустится до нулевой отметки [38,39,40]. Именно с этого момента толщина льда на стенках с течением времени будет увеличиваться. Чем больше будет период времени, в течение которого толщина льда достигнет критического уровня, тем, естественно, башня будет иметь большую функциональную устойчивость в случае резкого понижения температуры окружающего

воздуха и усиления скорости ветра. Этот период при резком внезапном ухудшении погодных условий и уменьшении притока воды складывается из периода охлаждения воды от положительной исходной температуры до нуля градусов и периода собственно накопления ледяного слоя на стенках башни.

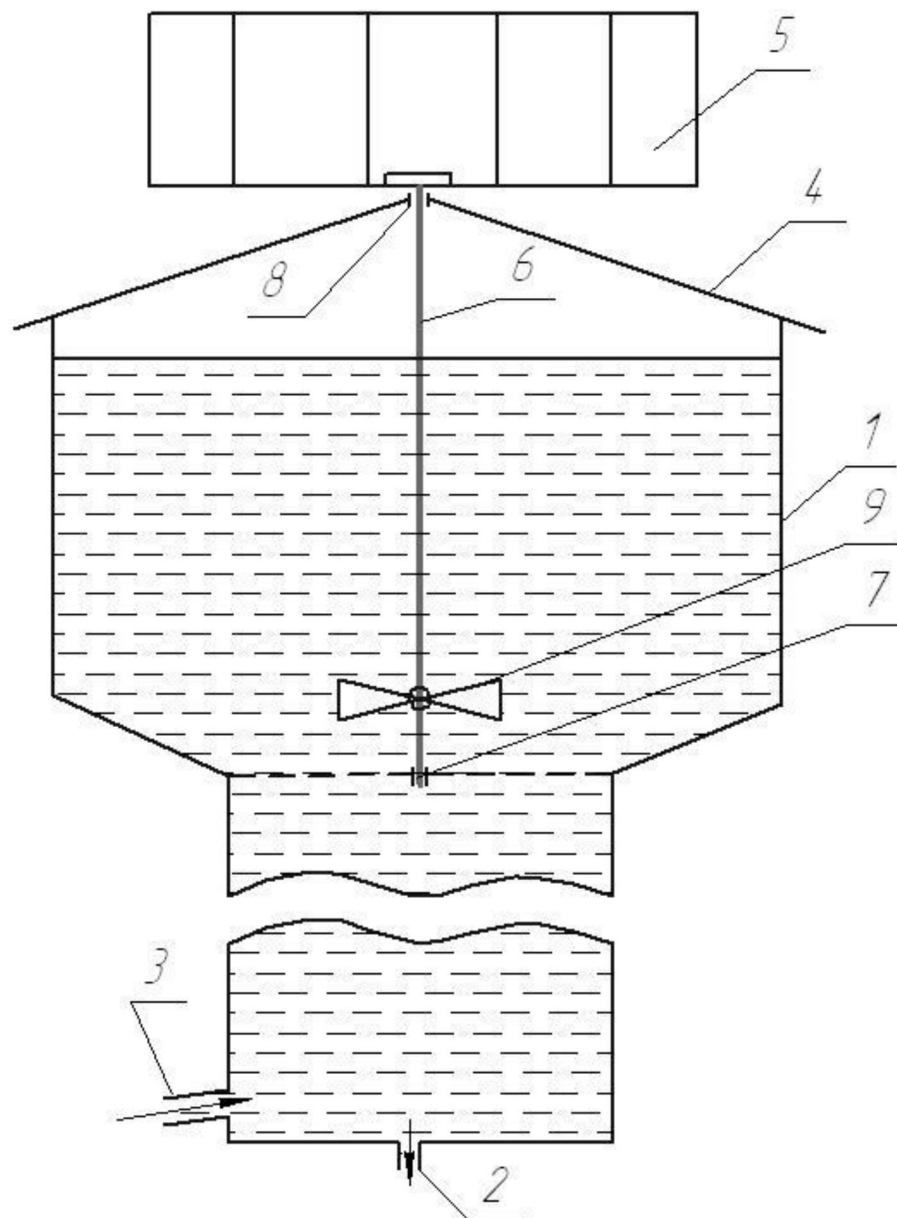


Рисунок 2.1 – Водонапорная башня с крыльчаткой – активатором: 1 – водонапорная башня; 2 – водоотводящий трубопровод; 3 – водоподводящий трубопровод; 4 – крышка; 5 – ветротурбина; 6 – вал; 7,8 – подшипники; 9 – крыльчатка-активатор

Таким образом, время до момента критического накопления льда можно увеличить и путём увеличения периода охлаждения воды [17,48,52]. А он будет тем больше, чем больше объём охлаждаемой воды. Этот принцип реализуется в предлагаемой автором работы водонапорной башне [43] изображённой на нижеследующем рисунке (рисунок 2.2)(Приложение 5,6).

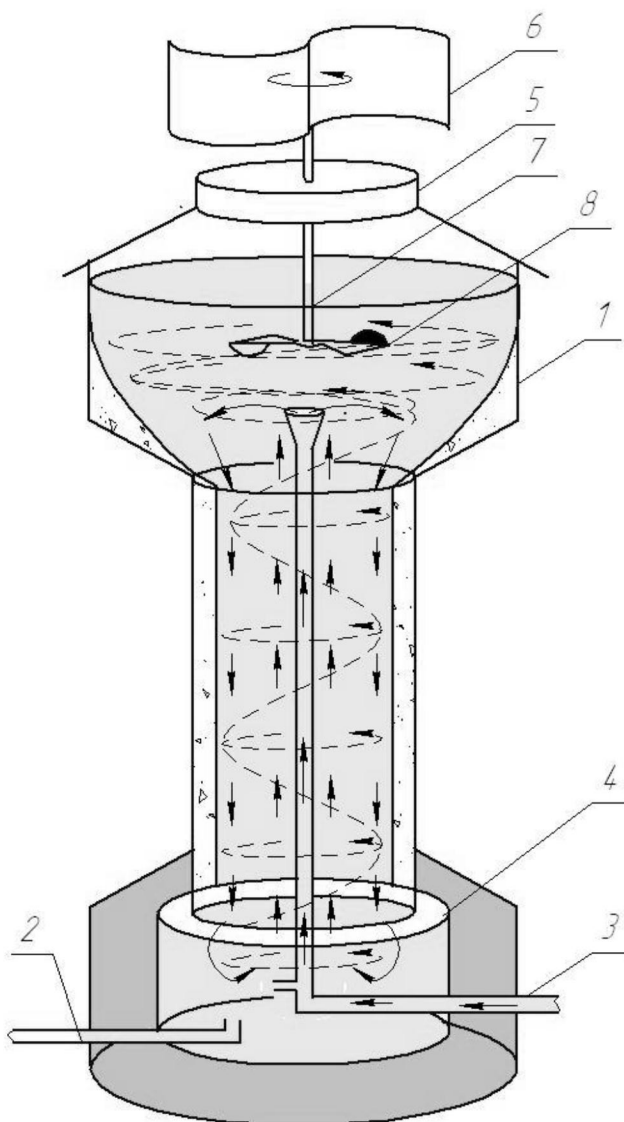


Рисунок 2.2 – Водонапорная башня с изолированной подземной ёмкостью: 1 – водонапорная башня; 2 – водоотводящий трубопровод; 3 – водоподводящий трубопровод; 4 – подземный резервуар; 5 – крышка; 6 – ветротурбина; 7 – вал; 8 – активатор циркуляционных потоков

Запас воды в подземной ёмкости позволяет увеличить переходный период охлаждения всего объёма воды при внезапном экстремальном охлаждении надземной части башни [36,]. Это в сочетании с методами интенсификации циркуляции воды позволит сохранить работоспособность башни даже при самых неблагоприятных эксплуатационных условиях. Такими методами интенсификации циркуляции технически приемлемыми и сочетаемыми с предложенной выше крыльчаткой с приводом от ветроколеса целесообразно осуществление подачи воды в верхнюю часть водонапорной башни [64] и подачи воды по касательной [41, 159].

2.2 Теоретическое обоснование путей и методов проектирования устройств предотвращения льдообразования

2.2.1 Система расчёта параметров водонапорной башни, устойчивой к обледенению

Для реализации предложенной выше конструкции водонапорной башни с повышенной устойчивостью функционирования в условиях льдообразования необходим расчёт рациональных параметров всех её составных частей. Ниже приведена классификационная схема параметров, подлежащих определению и обоснованию в подсистемах: водонапорная башня; подземный резервуар; лопастной активатор циркуляции воды внутри объёма водонапорной башни (рисунок 2.3).

Конструкционные параметры водонапорной башни определяются режимными параметрами водопотребления объекта водоснабжения. Параметры подземной ёмкости – необходимой устойчивостью водонапорной башни к обледенению в моменты пиковых нагрузок по условиям охлаждения. Параметры активатора циркуляционных потоков определяются

как минимум необходимой мощностью для осуществления процесса циркуляции достаточной интенсивности. И как максимум уровнем



Рисунок 2.3 – Параметрическая система повышения устойчивости к обледенению буферных емкостей

дополнительной тепловой энергии, подводимой в бак водонапорной башни, ограничивающей процесс обледенения до приемлемого уровня.

2.2.2 Алгоритм расчета и анализа силовых характеристик активатора циркуляции

Практика агрегатирования ветротурбин с гидромеханическими устройствами показывает, что многообразие форм лопаток лопастных приспособлений зависит от условий и режима работы, в которых данная ветротурбина эксплуатируется. Как известно, наиболее простым, в конструкционном плане, являются плоские лопатки, имеющие широкую

технологическую реализацию при адекватной расчетно-теоретической базе и методической апробации. Авторы настоящих диссертационных исследований посчитали целесообразным при формализации математической модели и создании оптимизационного алгоритма анализировать экспериментальный образец активатора с радиально расположенными лопатками.

При глиссировании активного диска активатора жидкость под действием центробежных сил перетекает от ступицы к периферии лопатки [2,34,142].

При силовом воздействии на жидкость, последняя перемешивается, совершая одновременные движения, как вдоль межлопаточных каналов, так и вращательное вокруг оси активатора. В этом случае наибольшее давление наблюдается в месте схода жидкости с лопаток. Таким образом, путь передачи силового потока от ветротурбины к лопастному колесу и дальнейшей его трансформации в активную тепловую энергию гидросреды предполагает учет трех силовых компонентов искомого момента лопастного активатора при взаимодействии с жидкостью [160]:

$$M = M_{\text{ц}} + M_{\text{тр}} + M_{\text{тр.мех}}, \quad (2.1)$$

где $M_{\text{ц}}$ – момент, обусловленный работой лопастного колеса;

$M_{\text{тр}}$ – момент, обусловленный трением жидкости о поверхность лопастного колеса;

$M_{\text{тр.мех}}$ – момент трения в уплотнениях и подшипниках.

Необходимо иметь ввиду, что при изучении процессов взаимодействия с внешней средой устройств реализующих активацию тепловых явлений в расчетно-методическом алгоритме наиболее целесообразно рассматривать не собственно энергию генерируемую ветроустановкой, а энергию затрачиваемую на преодоление совокупного (интегрального) тормозного момента. Такой подход позволяет учитывать и дифференцировать вязкостные характеристики рабочей жидкости адекватно ее температурному

состоянию, скоростному режиму и химическому составу. Фактически гипотеза термостабилизации рабочей жидкости (в нашем случае – воды) не строилась на теории механического внутриобъемного взаимодействия активатора циркуляции с разнотемпературными слоями жидкости. Авторы посчитали более целесообразным обосновать адекватность силовых характеристик, обеспечивающих функциональность проектируемой установки требуемой теплопроизводительности, достаточной для контроля за ростом ледяной массы во внутренней полости водонаполненной емкости.

Несмотря на то, что для возбуждения трения в жидкости, необходимо удерживать ее на максимальной площади активной поверхности в соответствующих пределах давления заданный период времени, оптимизация конструкционных параметров эксплуатируемой системы при оперировании силовыми характеристиками – моментами сопротивления, дает более достоверные результаты, чем при составлении энергетической модели. Данное утверждение не противоречит положениям теории гидромашин, что момент $M_{ц}$ есть следствие инерции жидкости, вступающей в соприкосновение с дисками активатора циркуляции, точнее увлекаемой центробежной силой при их вращении [49,118,154,156,201].

Как правило, жидкость, текущая по активатору циркуляции, и в зоне малого радиуса, не имеет составляющей скорости в направлении переносного движения с учетом геометрического расположения лопаток. Поэтому, в момент поступления жидкости в область активного взаимодействия, происходит увеличение ее скорости в направлении переносного движения от нуля до технологически заданного значения u_1 в месте входа. В соответствии с теорией движения равного количества жидкости по «средней» струйке, переносная скорость, в процессе исследования, рассматривалась как скорость на «среднем» радиусе входа [2,11,34,44,49,51,116,151,153].

Учитывая, что через активатор циркуляции протекает объем V жидкости с плотностью ρ , импульс силы, возникающей в результате разгона на радиусе r_1 массы ρV жидкости до скорости u_1 , описывается выражением:

$$F_1 t = V \rho u_1 , \quad (2.2)$$

где F_1 - импульс силы жидкости, H ;

V - объем жидкости, m^3 ;

ρ - плотность жидкости, kg/m^3 ;

u_1 - переносная скорость жидкости в месте входа, m/c ;

t - время разгона жидкости, c .

Тогда при $t = l/c$:

$$F_1 = Q \cdot \rho \cdot u_1 . \quad (2.3)$$

В соответствие с математическими преобразованиями, сила F_1 на плече r_1 создает активный момент:

$$M_a = Q \rho u_1 r_1 . \quad (2.4)$$

Активная функция генерирования тепла предполагает прохождение жидкости по лопаткам от радиуса r_1 до радиуса r_2 с приближением скоростного режима к значению u_2 , тогда реактивный момент, обусловленный разгоном жидкости в переносном движении от скорости u_1 до скорости u_2 , представляется уравнением:

$$M_p = Q \rho (u_2 r_2 - u_1 r_1) . \quad (2.5)$$

Момент на роторе лопастного активатора определяется как:

$$M_{\text{ц}} = M_a + M_p = Q \rho r_2 u_2 . \quad (2.6)$$

Проблема определения величины трения жидкости о поверхность лопастного активатора, характеризуемая моментом $M_{\text{тр.}}$, была решена на основе анализа результатов опытов, проведенных при испытаниях центробежных насосов.

На рисунках 2.4 и 2.5 представлены схемы, гипотетического колеса активатора, демонстрирующие поверхность во взаимодействии с движущейся жидкостью, где величина трения может быть записана как:

$$\tau = \mu \cdot \frac{v^2}{2g} \rho, \quad (2.7)$$

где μ - коэффициент трения.

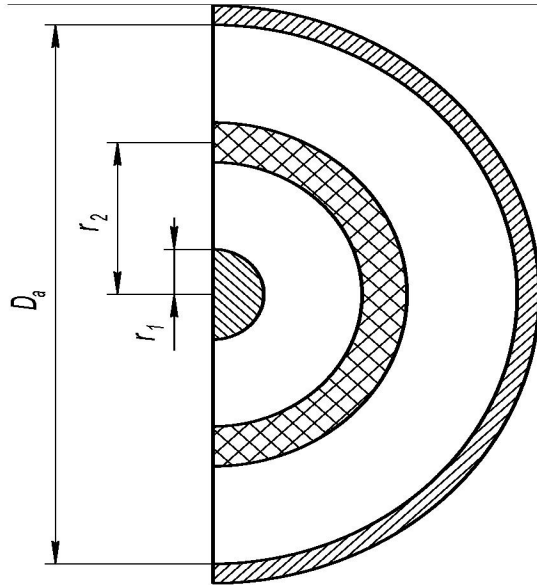


Рисунок 2.4 – Схема расположения активных поверхностей лопастного активатора циркуляции

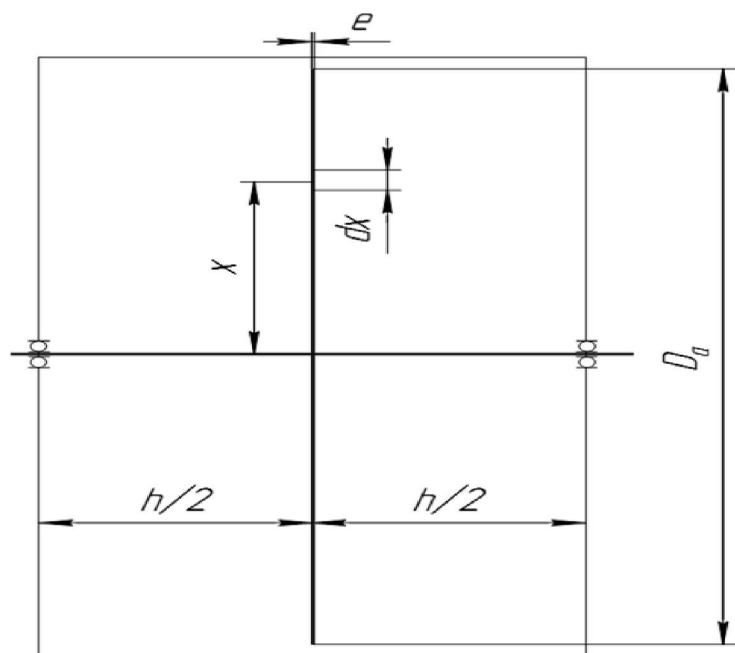


Рисунок 2.5 – Расчетная схема для определения дискового трения

Несмотря на то, что эта величина существенно зависит от числа Рейнольдса, неоднозначна для различных элементов поверхности диска и меняется с изменением величины радиуса, эмпирические показатели допускают при расчете принимать μ постоянной средней величиной для всего диска.

С учетом угловой скорости диска ω :

$$\vartheta = \omega x. \quad (2.8)$$

Тогда величина элементарной силы, обусловленной напряжениями трения τ , формализуется как:

$$dF_{\text{тр}} = 2\pi x \mu \cdot \frac{\omega^2 x^2}{2g} \gamma dx = \pi \mu x^3 \omega^2 \rho dx, \quad (2.9)$$

где $\rho = \frac{\gamma}{g}$.

Отсюда, элементарный момент трения соответственно равен:

$$dM_{\text{тр}} = \pi \mu \rho x^4 \omega^2 dx. \quad (2.10)$$

В результате интегральных преобразований в пределах от 0 до $D_a/2$ с учетом обеих сторон диска, было получено уравнение момента

$$M_{\text{тр}} = \frac{2}{5} \cdot \rho \mu \pi \omega^2 \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^5, \quad (2.11)$$

где D_a - активный диаметр активатора циркуляции, м.

Локализуя полученное выражение по ширине (e) цилиндрического пояса, авторы установили выходные силовые функции расчетного алгоритма:

$$M_{\text{тр}} = \rho \mu \cdot \pi \omega^2 \left(\frac{D_a}{2}\right)^4 \cdot \left(\frac{D}{5} + e\right), \quad (2.12)$$

И соответственно:

$$N_{\text{тр}} = K \gamma \omega^3 D^4 (D + 5e), \quad (2.13)$$

где K -функция числа Рейнольдса ($Re = \frac{uD}{2\nu} = \frac{\omega D^2}{4\nu}$) при условии $u = \omega \frac{D}{2}$

Для практических расчетов формулу для мощности трения можно переписать как $N_{\text{тр}} = K \gamma u^3 D (D + 5e)$, а (K) принять равным $1,1 \cdot 10^{-6}$ при $Re = 7 \cdot 10^5$, эта величина рекомендуется исследователями, как для

центробежных насосов, так и для других гидроприводных устройств, работающих на воде [49,51,142].

Для проведения дальнейшего анализа требуется создание экспериментальных устройств, минимизированных по количеству технических решений, что обусловлено лимитированностью материальных затрат на внедрение предполагаемого авторами метода. Разработанная математическая модель, алгоритмизированная в расчетную методику, позволяет сделать не только адекватный прогноз теплопроизводительности термогенерирующей технологической системы для каждого конкретного гидросооружения башенного типа агрегируемого с ветроустановкой, но и проанализировать взаимозависимости между базовыми конструкционными величинами (h , D) и моментом трения.

Необходимо отметить, что изучение природы гидромеханического процесса на основе предлагаемой модели делает возможным по характеристике изменения градиента скорости априори установить рациональное соотношение указанных величин. В этом случае можно предполагать как минимизацию напряжения трения, так и минимизацию количества экспериментальных образцов самого технического решения. Дополнительно, факт возрастания мощности $N_{тр}$, связанного с перемешиванием массы жидкости во вторичных потоках при увеличении зазора между корпусом и ротором термоактиватора, так же был формализован по данной алгоритмированной методике. В результате проведенных расчетов не только установлены геометрические характеристики лопастных и трансмиссионных элементов экспериментальных образцов, но и выполнена комплектация при агрегировании водонапорной емкости (ВБР) и ветрогенераторной установки.

Для определения теплопроизводительности такой установки существует два подхода. Первый из них основан на использовании

экспериментальных данных опытного образца как геометрически подобной модели с помощью метода теории подобия. Второй - на использовании математической модели, позволяющей адекватно прогнозировать возможную теплопроизводительность реальных установок [21,49].

2.3 Моделирование процесса образования льда на стенках водонапорной башни

2.3.1 Водонапорная башня в виде бака одинакового диаметра по всей высоте

Такие башни встречаются при водоснабжении животноводческих ферм и комплексов в основном при расположении их на возвышенностях.

Намерзание льда происходит, когда теплотери через стенки башни превышают поступление тепла с водой, закачиваемой в полость башни из скважины [127,162,163]. В работе [130] предложена методика расчёта толщины слоя льда на стенках башни в динамическом режиме при различных климатических и режимных параметрах. Однако положенная в основу расчёта скорость увеличения слоя льда оценивается по этой методике по косвенному критерию, что приводит к неоднозначным результатам [14,15,94,97]. Поэтому представляет практический интерес уточнить данную методику и на этой основе построить зависимости толщины слоя льда от времени для различных климатических условий и различных величин протока воды через водонапорную башню [184,185,207].

На нижеследующем рисунке 2.6 показан поперечный разрез бака башни.

При перемешивании находящейся в ней воды, которое частично осуществляется за счёт естественной конвекции и может интенсифицироваться различными техническими средствами, предложенными например в [41,42,128,131], в том числе и предложенными в разделе 2.1 методами, а также при наличии на внутренней стенке башни льда,

можно с достаточной степенью точности считать, что её температура по всей высоте башни равна 0 °С.

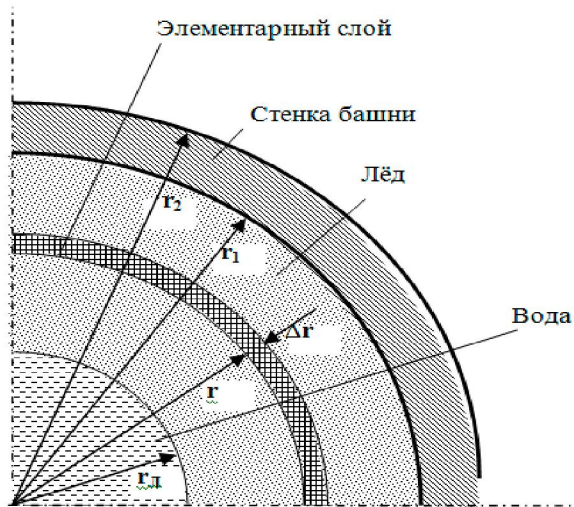


Рисунок 2.6 – К расчёту температурного сопротивления водонапорной башни

Так как температура вне башни в зимнее время года отрицательна, то передача тепла происходит в направлении от центра башни в окружающее пространство. Передача осуществляется через лёд и стенку башни теплопроводностью и с внешней поверхности стенки башни теплоотдачей [62]. Теплопроводность осуществляется в соответствии с законом Фурье, согласно которому [186]

$$P = \lambda F (T_1 - T_2) / \delta = \theta / (\delta / \lambda F), \quad (2.14)$$

где P – мощность теплового потока, проходящего через плоскую стенку, перпендикулярную направлению движения потока, Вт;

F – площадь поверхности стенки, м²;

θ – температурное напряжение (по аналогии с законом Ома для электрической цепи) $\theta = T_1 - T_2$, К;

$T_1 - T_2$ – разность температур поверхностей стенки, К;

$\delta / \lambda F = R_T$ – по аналогии с законом Ома для электрической цепи сопротивление передаче тепла, К /Вт;

δ – расстояние между гранями пластины, м.

λ – удельная теплопроводность, численно равная мощности теплового потока проходящего через плоскую стенку площадью 1 м² толщиной 1 метр при разности температур между противоположными её гранями один К, Вт/(м· К).

Удельная теплопроводность зависит от материала стенки и температуры. Другое её название – коэффициент теплопроводности, более распространённое в технической литературе, однако не совсем соответствующее её физической сущности.

Для рассматриваемой водонапорной башни представляет интерес сопротивление при передаче тепла через однородную цилиндрическую стенку (рисунок 2.6). Если толщина стенки бесконечно мала, сопротивление её также имеет бесконечно малую величину и может быть определено так же, как и для плоской стенки [50]

$$dR_T = dr/\lambda F = dr/2\pi r H \lambda, \quad (2.15)$$

где H – высота башни, м;

r – радиус элементарного слоя, м;

dr – толщина элементарного слоя, м.

Тогда сопротивление теплопередаче слоя толщиной от r_0 до r находится по формуле

$$R = \frac{1}{2\pi H \lambda} \int_{r_0}^r \frac{dr}{r} = \frac{1}{2\pi H \lambda} \ln \frac{r}{r_0}. \quad (2.16)$$

Конкретно для рассматриваемого случая сопротивление слоя льда толщиной от $r = r_l$ до $r = r_1$

$$R_l = \frac{1}{2\pi H \lambda_l} \int_{r_l}^{r_1} \frac{dr}{r} = \frac{1}{2\pi H \lambda_l} \ln \frac{r_1}{r_l}, \quad (2.17)$$

а сопротивление теплопередаче стенки башни от $r = r_1$ до $r = r_2$

$$R_c = \frac{1}{2\pi H \lambda_c} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{1}{2\pi H \lambda_c} \ln \frac{r_2}{r_1}. \quad (2.18)$$

Теплоотдача с поверхности башни в окружающую среду осуществляется в соответствии с положениями Ньютона [64], согласно которым

$$P = \alpha F (T_n - T_c) = \theta_{nc} / (1/\alpha F), \quad (2.19)$$

где P – мощность теплового потока излучаемого теплоотдающей поверхностью, Вт;

$T_{\Pi} - T_c = \theta_{\Pi c}$ – разность температур теплоотдающей поверхности и окружающей среды, К;

F – площадь теплоотдающей поверхности, м²;

$1/\alpha F = R_{\Pi}$ – сопротивление теплоотдаче, К /Вт;

α – удельная теплоотдача, численно равная мощности теплового потока отдаваемого (поглощаемого) поверхностью площадью 1 м² в окружающую среду при разности температур между поверхностью и окружающей средой один градус, Вт/(м²· К).

По данным [96] $\alpha = 4,5 + 4V$,

где V – скорость обдувающего поверхность воздуха, м/с.

Конкретно тепловое сопротивление теплоотдающей поверхности башни

$$R_{\Pi} = \frac{1}{s\alpha} = \frac{1}{2\pi r_2 H \alpha}. \quad (2.20)$$

Общее тепловое сопротивление от внутренней поверхности льда до окружающей среды

$$R = f(r_{\text{л}}) = R_{\text{л}} + R_{\text{с}} + R_{\Pi} = \frac{1}{2\pi H \lambda_{\text{л}}} \ln \frac{r_1}{r_{\text{л}}} + \frac{1}{2\pi H \lambda_{\text{с}}} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi H r_2 \alpha}. \quad (2.21)$$

Тогда мощность теплового потока, уходящего в окружающую среду,

$$P_{\Pi} = \frac{\theta_{\text{вс}}}{R(r_{\text{л}})} dt = \frac{\theta_{\text{вс}}}{\frac{1}{2\pi H \lambda_{\text{л}}} \ln \frac{r_1}{r_{\text{л}}} + \frac{1}{2\pi H \lambda_{\text{с}}} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 H \alpha}}, \quad (2.22)$$

где $\theta_{\text{вс}} = T_{\text{в}} - T_{\text{с}}$ – разность температуры воды $T_{\text{в}}$, находящейся в баке башни (при наличии льда равной нулю) и температуры окружающей среды (воздуха) $T_{\text{с}}$, К.

При этом мощность притока тепла, поступающего с закачиваемой из скважины водой

$$P_{\text{в}} = c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} Q \theta_{\text{в}}, \quad (2.23)$$

где Q – поступление воды в бак, м³/с;

$\theta_{\text{в}}$ – разность температуры воды, находящейся в баке, и температуры поступающей воды, К;

c_v – удельная теплоёмкость воды, Дж/кг К;

ρ_v – плотность воды, кг/м³.

В установившемся состоянии, когда ни нарастания массы льда, ни его плавления не происходит, существует баланс притока тепла и его отдачи в окружающее пространство ($P_T = P_B$). Заменяя в этом равенстве мощности тепловых потоков их значениями и произведя некоторые преобразования, получим выражение расхода поступающей воды, необходимого для поддержания данного баланса при установившемся радиусе $r_{лу}$ внутренней цилиндрической поверхности слоя льда,

$$Q = f(r_{лу}) = \frac{\theta_{вс}}{(\frac{1}{2\pi H \lambda_l} \ln \frac{r_1}{r_{лу}} + \frac{1}{2\pi H \lambda_c} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 H \alpha}) c_v \rho_v \theta_v}. \quad (2.24)$$

Для решения вопроса о динамике нарастания льда необходимо включить в уравнение теплового баланса теплоту плавления льда [6,8]. Теплота плавления элементарного слоя льда, Дж

$$dw_{л} = g dm, \quad (2.25)$$

где g – удельная теплота плавления льда, Дж/кг;

$dm = \rho_{л} 2\pi r_{л} H dr_{л}$ – элементарный прирост массы льда по всей внутренней поверхности бака водонапорной башни, кг.

Процессы теплообмена и таяния льда протекают достаточно медленно, поэтому количество тепла, идущего на нагрев или выделяемого при охлаждении льда и стенок башни, значительно меньше того количества тепла, которое отдаётся поступающей в башню водой [24,25,32]. Тогда с достаточной степенью точности можно считать, что тепло поступающей воды целиком уходит на плавление льда и покрытие тепловотерь $dw_{в} = dw_{п} + dw_{л}$.

Заменяя входящие в уравнение величины их значениями, получим следующее дифференциальное уравнение [22]

$$c_v \rho_v Q \theta_v dt = \frac{\theta_{вс}}{\frac{1}{2\pi H \lambda_l} \ln \frac{r_1}{r_{л}} + \frac{1}{2\pi H \lambda_c} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 \alpha}} dt + g \rho_{л} 2\pi H r_{л} dr_{л}, \quad (2.26)$$

из которого следует

$$dr_{\text{л}} = \frac{c_{\text{в}} \rho_{\text{в}} Q \theta_{\text{в}} - \frac{\theta_{\text{вс}}}{\frac{1}{2\pi H \lambda_{\text{л}}} \ln \frac{r_1}{r_{\text{л}}} + \frac{1}{2\pi H \lambda_{\text{с}}} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{2\pi r_2 H \alpha}}}{g \rho_{\text{л}} 2\pi H r_{\text{л}}} dt . \quad (2.27)$$

Решим данное дифференциальное уравнение, определим зависимости $r_{\text{л}} = f(t)$ для Q , изменяющемуся по суточному графику $Q = f(t)$, представленному на рисунке 2.7, и для постоянного среднесуточного значения Q , соответствующего данному графику.

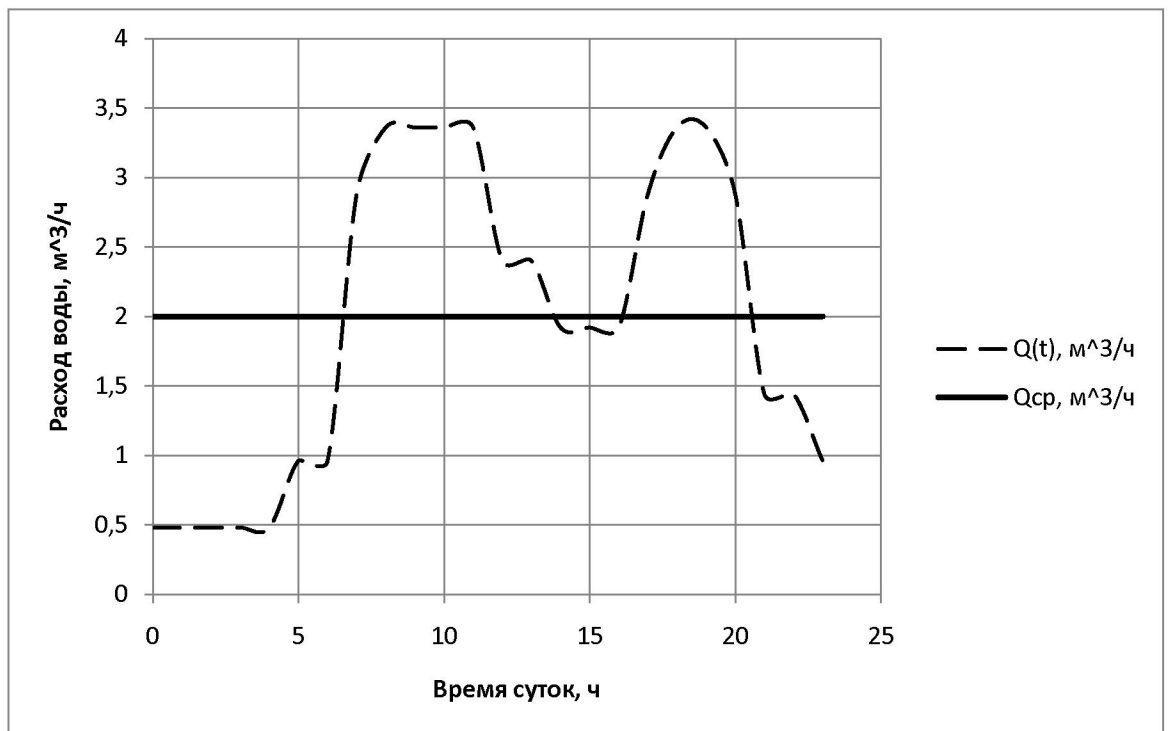


Рисунок 2.7 – Суточный график водопотребления при $Q_{\text{ср}} = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$

Решение дифференциального уравнения осуществим графоаналитическим способом, заменив в нём дифференциалы переменных величин $r_{\text{л}}$ и t достаточно малыми приращениями этих величин. При этом будем считать, что на отрезке времени Δt $r_{\text{л}}$ и Q будут оставаться постоянными. Алгоритм решения уравнения представлен на рисунке 2.8.

В результате получим две кривые (рисунок 2.9) изменения радиуса внутренней поверхности льда от времени: одна при неизменном расходе

воды в течение суток ($Q = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$), а другая при переменном расходе ($Q - \text{var}$), среднее значение которого также равно $2 \text{ м}^3/\text{ч}$.

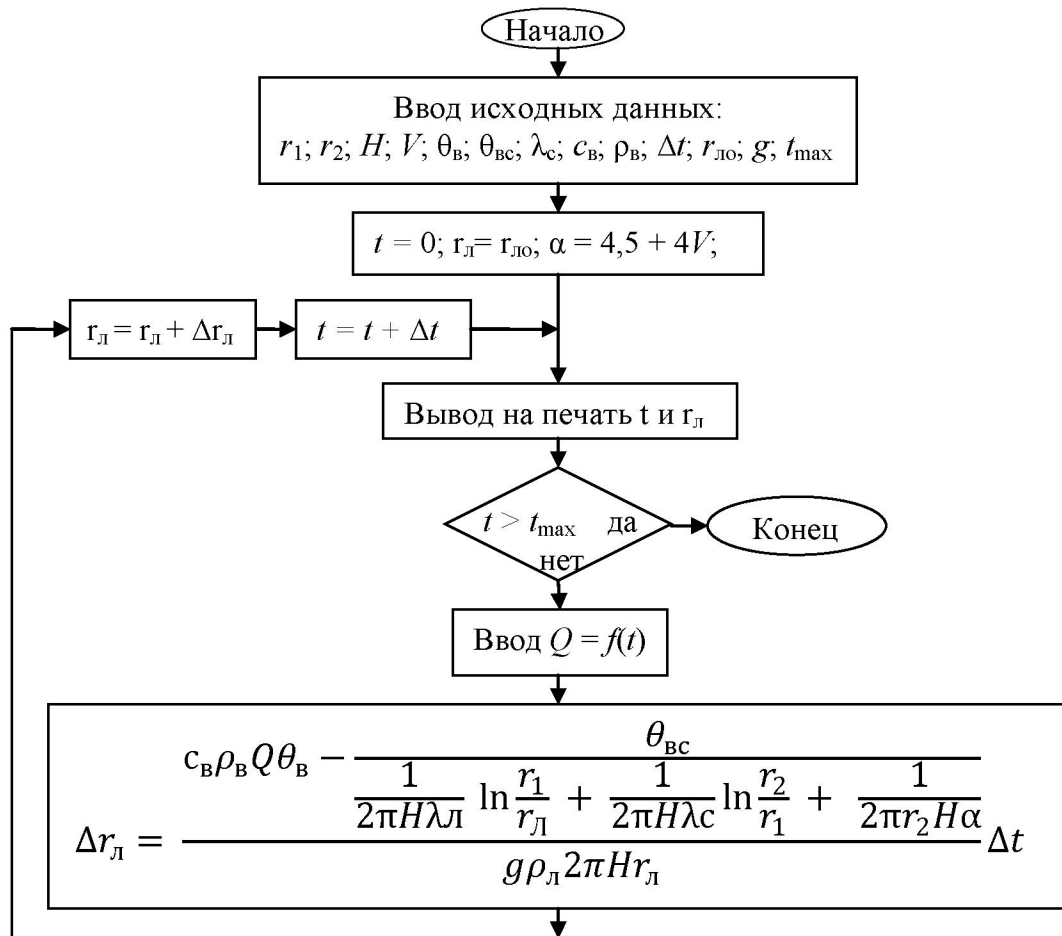


Рисунок 2.8 – Алгоритм решения дифференциального уравнения (2.27)

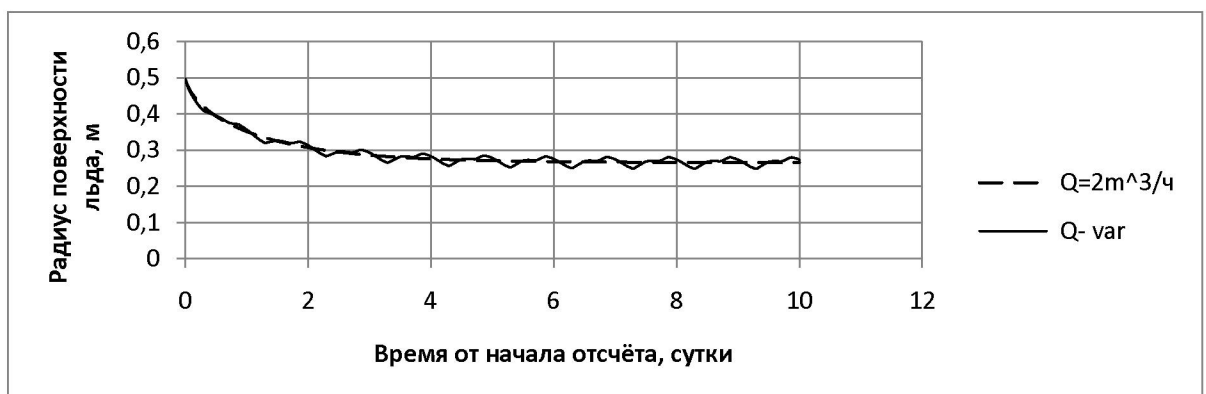


Рисунок 2.9 – Зависимость радиуса внутренней поверхности льда от времени при переменном ($Q - \text{var}$) и постоянном ($Q=2 \text{ м}^3/\text{ч}$) среднесуточном расходе воды ($T_{\text{с}} = -40 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $V = 10 \text{ м/с}$)

Вид кривых показывает, что нарастание льда до установившегося уровня происходит за время, превышающее несколько суток. При этом в среднем накопление льда при переменном в течение суток поступлении воды в бак водонапорной башни ($Q=f(t)$) происходит также, как, если бы это поступление было постоянным, равным среднесуточному поступлению ($Q = Q_{\text{ср}}$). Тогда для упрощения расчётов интенсивности нарастания льда и его установившегося значения по приведённому выше алгоритму величину Q , и равным образом температуру T_c и скорость окружающего воздуха V можно принять постоянными, равными среднесуточным [26,27].

2.3.2 Водонапорная башня с баком, расположенным на стойке

Такие водонапорные башни имеют преимущественное распространение в сельском хозяйстве. На нижеследующем рисунке показан поперечный разрез стойки и бака водонапорной башни [99,101,102,103,164].

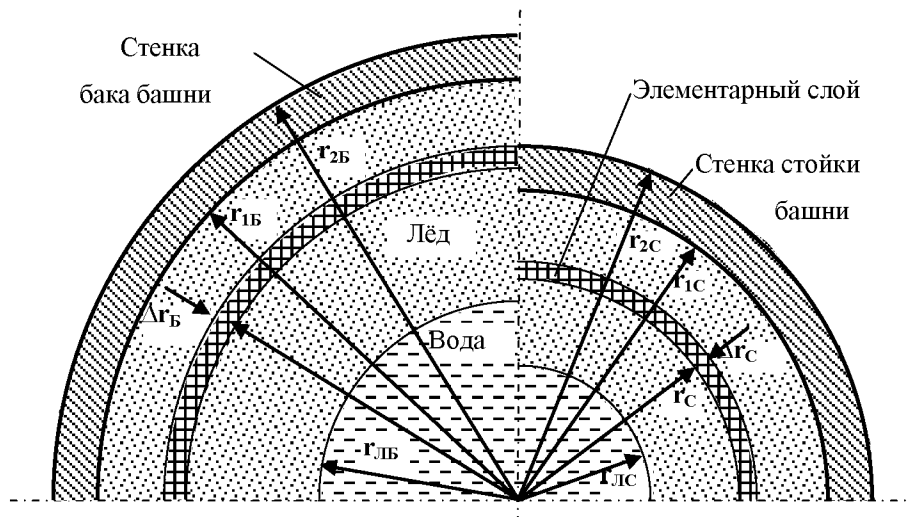


Рисунок 2.10 – К расчёту температурного сопротивления водонапорной башни

Как было показано выше, сопротивление теплопередаче слоя толщиной от r_0 до r находится по формуле

$$R = \frac{1}{2\pi H \lambda} \int_{r=r_0}^r \frac{dr}{r} = \frac{1}{2\pi H \lambda} \ln \frac{r}{r_0}. \quad (2.28)$$

Конкретно для рассматриваемого случая сопротивление слоя льда толщиной от $r = r_l$ до $r = r_1$ для стойки

$$R_{лс} = \frac{1}{2\pi H_c \lambda_l} \int_{r_{лс}}^{r_{1с}} \frac{dr}{r} = \frac{1}{2\pi H_c \lambda_l} \ln \frac{r_{1с}}{r_{лс}}, \quad (2.29)$$

и для бака

$$R_{лб} = \frac{1}{2\pi H_b \lambda_l} \int_{r_{лб}}^{r_{1б}} \frac{dr_b}{r_b} = \frac{1}{2\pi H_b \lambda_l} \ln \frac{r_{1б}}{r_{лб}}. \quad (2.30)$$

Сопротивление теплопередаче стенки стойки от $r = r_1$ до $r = r_2$

$$R_{сс} = \frac{1}{2\pi H_c \lambda_c} \int_{r_{1с}}^{r_{2с}} \frac{dr_c}{r_c} = \frac{1}{2\pi H_c \lambda_c} \ln \frac{r_{2с}}{r_{1с}}, \quad (2.31)$$

а сопротивление теплопередаче стенки бака

$$R_{сб} = \frac{1}{2\pi H_b \lambda_c} \int_{r_{1б}}^{r_{2б}} \frac{dr}{r} = \frac{1}{2\pi H_b \lambda_c} \ln \frac{r_{2б}}{r_{1б}}. \quad (2.32)$$

Теплоотдача с поверхности башни в окружающую среду, также как для башни с баком без стойки, осуществляется в соответствии с положениями Ньютона, согласно которым тепловое сопротивление теплоотдающей поверхности стойки башни, °С/Вт [166,169]

$$R_{пс} = \frac{1}{S_c \alpha} = \frac{1}{2\pi r_{2с} H_c \alpha}, \quad (2.33)$$

а бака башни

$$R_{пб} = \frac{1}{S_b \alpha} = \frac{1}{2\pi r_{2б} H_b \alpha}. \quad (2.34)$$

где S_c S_b – площадь теплоотдающей поверхности соответственно стойки и бака башни, м²;

α – удельная теплоотдача, Вт/(м² · К).

Общее тепловое сопротивление от внутренней поверхности льда до окружающей среды для стойки

$$R_C = f(r_{LC}) = R_{LC} + R_{CC} + R_{PC} = \frac{1}{2\pi H_C \lambda_L} \ln \frac{r_{1C}}{r_{LC}} + \frac{1}{2\pi H_C \lambda_C} \ln \frac{r_{2C}}{r_{1C}} + \frac{1}{2\pi H_C r_{2C} \alpha} \quad (2.35)$$

и для бака

$$R_B = f(r_{LB}) = R_{LB} + R_{CB} + R_{PB} = \frac{1}{2\pi H_B \lambda_L} \ln \frac{r_{1B}}{r_{LB}} + \frac{1}{2\pi H_B \lambda_C} \ln \frac{r_{2B}}{r_{1B}} + \frac{1}{2\pi H_B r_{2B} \alpha} \quad (2.36)$$

Тогда мощность теплового потока, уходящего в окружающую среду через стенки стойки

$$P_{PC} = \frac{\theta_{BC}}{R_C(r_{LC})} = \frac{\theta_{BC}}{\frac{1}{2\pi H_C \lambda_L} \ln \frac{r_{1C}}{r_{LC}} + \frac{1}{2\pi H_C \lambda_C} \ln \frac{r_{2C}}{r_{1C}} + \frac{1}{2\pi H_C r_{2C} \alpha}}, \quad (2.37)$$

а через стенки бака

$$P_{PB} = \frac{\theta_{BC}}{R_B(r_{LB})} = \frac{\theta_{BC}}{\frac{1}{2\pi H_B \lambda_L} \ln \frac{r_{1B}}{r_{LB}} + \frac{1}{2\pi H_B \lambda_C} \ln \frac{r_{2B}}{r_{1B}} + \frac{1}{2\pi H_B r_{2B} \alpha}} \quad (2.38)$$

При этом мощность притока тепла, поступающего с закачиваемой из скважины водой, как было показано выше

$$P_B = c_B \rho_B Q \theta_B, \quad (2.39)$$

где Q – поступление воды в бак, м³/с;

θ_B – разность температуры воды, находящейся в баке, и температуры поступающей воды, К;

c_B – удельная теплоёмкость воды, Дж/кг;

ρ_B – плотность воды, кг/м³.

В установившемся состоянии, когда ни нарастания массы льда, ни его плавления не происходит, существует баланс притока тепла и его отдачи в окружающее пространство [113,121]

$$P_{PC} + P_{PB} = P_B.$$

Для решения вопроса о динамике нарастания льда необходимо включить в уравнение теплового баланса теплоту плавления льда. Теплота плавления элементарного слоя льда соответственно для стойки и бака, Дж

$$dw_{LC} = g dm_c = g \rho_L 2\pi r_{LC} H_C dr_{LC} \quad (2.40)$$

$$dw_{\text{ЛБ}} = gdm_{\text{Б}} = g\rho_{\text{Л}}2\pi r_{\text{ЛБ}}H_{\text{Б}}dr_{\text{ЛБ}} \quad (2.41)$$

где g – удельная теплота плавления льда, Дж/кг;

$dm_{\text{С}}$ и $dm_{\text{Б}}$ – элементарный прирост массы льда по всей внутренней поверхности соответственно стойки и бака водонапорной башни, кг.

Как и в предыдущем случае процессы теплообмена и таяния льда протекают достаточно медленно, поэтому количество тепла, идущего на нагрев или выделяемого при охлаждении льда и стенок башни, значительно меньше того количества тепла, которое отдаётся поступающей в башню водой [70,71,75, 78,79,83]. Тогда с достаточной степенью точности можно считать, что тепло поступающей воды целиком уходит на плавление льда и покрытие теплопотерь

$$dw_{\text{В}} = dw_{\text{ПС}} + dw_{\text{ПБ}} + dw_{\text{ЛС}} + dw_{\text{ЛБ}}. \quad (2.42)$$

Заменив входящие в уравнение величины их значениями, получим следующее дифференциальное уравнение

$$P_{\text{В}}dt = c_{\text{В}}\rho_{\text{В}}Q\theta_{\text{В}}dt = (P_{\text{ПС}} + P_{\text{ПБ}})dt + g\rho_{\text{Л}}2\pi(r_{\text{ЛС}}H_{\text{С}}dr_{\text{ЛС}} + r_{\text{ЛБ}}H_{\text{Б}}dr_{\text{ЛБ}}). \quad (2.43)$$

Мощности теплового потока, приходящаяся на 1 м² площади внутренней поверхности льда, поступающего с приточной водой,

$$p_{\text{В}} = \frac{P_{\text{В}}}{2\pi(r_{\text{ЛС}}H_{\text{С}} + r_{\text{ЛБ}}H_{\text{Б}})}, \quad (2.44)$$

а поверхностная плотность теплопотерь стойки и бака башни

$$p_{\text{ПС}} = \frac{P_{\text{ПС}}}{2\pi r_{\text{ЛС}}H_{\text{С}}} \quad (2.45)$$

$$p_{\text{ПБ}} = \frac{P_{\text{ПБ}}}{2\pi r_{\text{ЛБ}}H_{\text{Б}}} \quad (2.46)$$

При этом поверхностная плотность энергии, идущей на плавление льда для стойки и бака соответственно:

$$dw_{\text{ЛС}} = g\rho_{\text{Л}}dr_{\text{ЛС}}; \quad (2.47)$$

$$dw_{\text{ЛБ}} = g\rho_{\text{Л}}dr_{\text{ЛБ}}. \quad (2.48)$$

Тогда для единицы площади внутренней поверхности льда для стойки и бака [123,124]:

$$p_v dt = p_{пс} dt + g \rho_l dr_{лс}; \quad (2.49)$$

$$p_v dt = p_{пб} dt + g \rho_l dr_{лб}. \quad (2.50)$$

Или в развёрнутом виде:

$$\frac{c_v \rho_v Q \theta_v}{2\pi(r_{лс}H_c + r_{лб}H_b)} dt = \frac{P_{пс}}{2\pi r_{лс}H_c} dt + g \rho_l dr_{лс}; \quad (2.51)$$

$$\frac{c_v \rho_v Q \theta_v}{2\pi(r_{лс}H_c + r_{лб}H_b)} dt = \frac{P_{пб}}{2\pi r_{лб}H_b} dt + g \rho_l dr_{лб}. \quad (2.52)$$

Преобразуем выражения (2.49) и (2.50):

$$(p_v - p_{пс})dt = g \rho_l dr_{лс}; \quad (2.53)$$

$$(p_v - p_{пб})dt = g \rho_l dr_{лб}, \quad (2.54)$$

и поделим первое уравнение на второе

$$\frac{dr_{лс}}{dr_{лб}} = \frac{p_v - p_{пс}}{p_v - p_{пб}}. \quad (2.55)$$

Откуда

$$dr_{лб} = dr_{лс} \frac{p_v - p_{пб}}{p_v - p_{пс}}. \quad (2.56)$$

Подставим $dr_{лб}$ в уравнение (2.43)

$$P_v dt = (P_{пс} + P_{пб})dt + g \rho_l 2\pi(r_{лс}H_c + r_{лб}H_b \frac{p_v - p_{пб}}{p_v - p_{пс}})dr_{лс}. \quad (2.57)$$

Тогда

$$dr_{лс} = \frac{(P_v - P_{пс} - P_{пб})dt}{g \rho_l 2\pi(r_{лс}H_c + r_{лб}H_b \frac{p_v - p_{пб}}{p_v - p_{пс}})} \quad (2.58)$$

Далее определяется $dr_{лб}$ по выражению (2.56)

Решение дифференциального уравнения осуществим также графоаналитическим способом, заменив в нём дифференциалы переменных величин $r_{лс}$, $r_{лб}$ и t достаточно малыми приращениями этих величин [77,110,125,126]. При этом будем считать, что на отрезке времени Δt $r_{лс}$, $r_{лб}$ и

Q будут оставаться постоянными. Алгоритм решения уравнения представлен на рисунке 2.11.

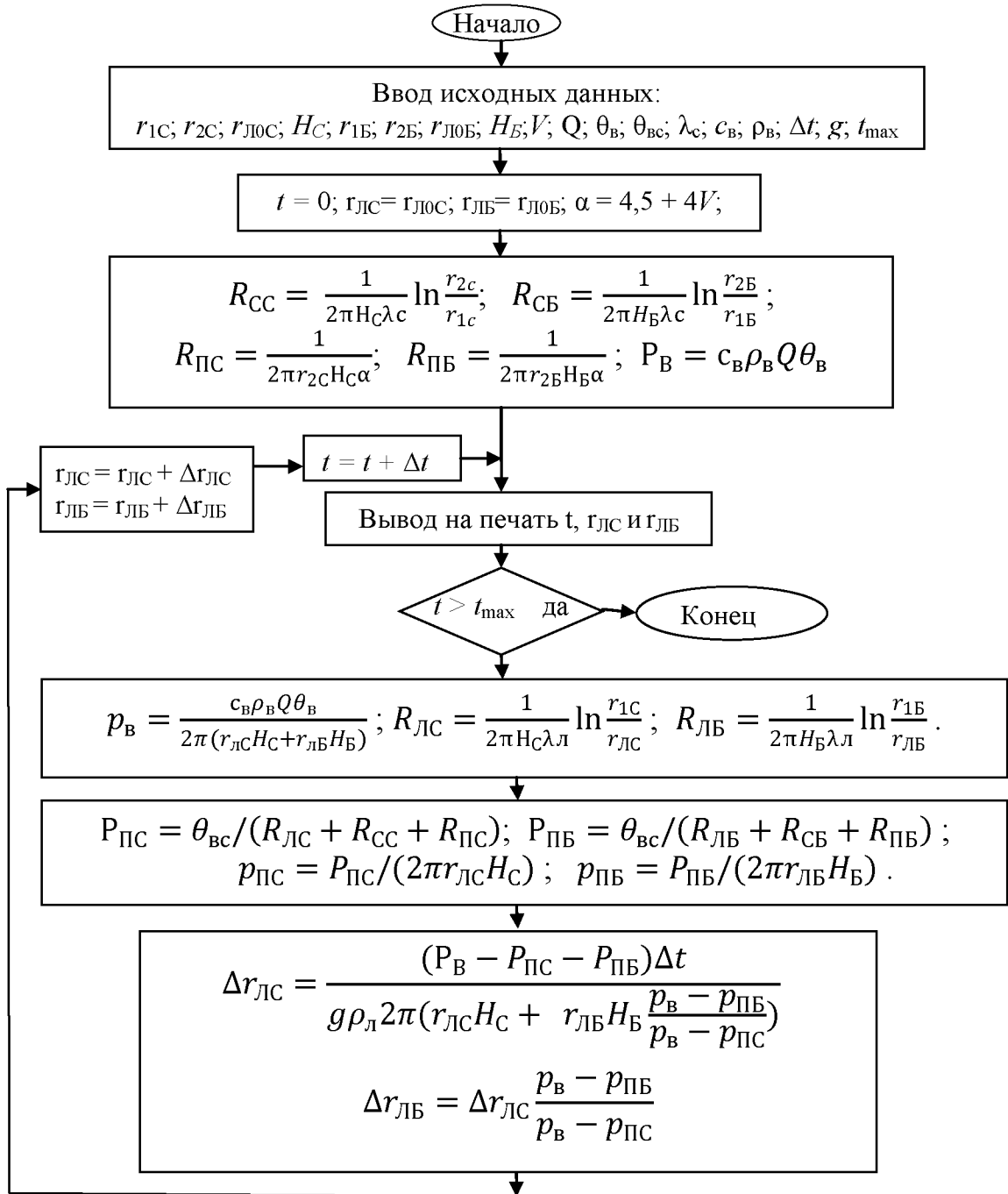


Рисунок 2.11 – Алгоритм решения дифференциального уравнения (2.58)

Выводы по главе

1. На основе полученного уравнения формализующего параметрические взаимосвязи характеристик водонапорной башни с равными диаметрами бака и стойки установлен режим водопотребления животноводческого комплекса для выхода на установившийся радиус льдообразования на уровне не менее 2 м^3 .

2. В результате математического моделирования установлены конструкционно-режимные характеристики водонапорных башен типа «монобак» и «бак-стойка» указывающие на эффект 50% повышения устойчивости к обледенению монобаковой конструкции.

3. Прогнозная достоверность графоаналитического решения дифференциальных уравнений моделирующих процессы формирования ледяной массы для обоих типов башни находится на уровне свыше 95%.

4. Изменение радиуса внутренней поверхности льда при переменных эксплуатационных параметрах водонапорной башни происходит адекватно модели динамики геометрии льда учитывающей средние значения этих параметров в заданный контрольный период водопотребления на животноводческом комплексе, что позволяет сократить себестоимость будущего технического изделия в 1,5 раза на этапе проведения проектных работ.

3 МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Определение функций изменения ледяной массы во внутренней полости водонапорной башни в зависимости от природно-климатических факторов и режима водопотребления

В соответствии с поставленными задачами по обеспечению надежности системы водоснабжения животноводческих ферм и комплексов в диссертационной работе предложена методика экспериментального исследования, основанная на математической модели льдообразования в замкнутом объеме водонапорной башни. Для реализации аналитических процедур, расчета конструктивно-геометрических параметров и режимных характеристик была разработана программа для ЭВМ (Приложение 4,6) в среде MathCAD, посредством которой реализован модельный эксперимент в основу, которого положены математические зависимости, характеризующие объект без погрешностей. В связи с этим эксперимент на объекте был заменен экспериментом на модели [3,7,33,67,112,144].

В математическую модель закладывалась во-первых, программа определения факторов, влияющих на работоспособность башен с комбинированным подводом энергии. Во-вторых, программа определения оптимальных размеров подземных термокомпенсирующих резервуаров и активаторов лопастного типа [108,109,194,198].

Ниже приведена иллюстрация полученной зависимости $Q = f(r_{\text{лy}})$ для нескольких значений температуры T_c окружающей среды при:

$r_1 = 0,495$ м; $r_2 = 0,5$ м; $H = 10$ м; $V = 10$ м/с; $\theta_b = 5$ °C; $\lambda_c = 47$ Вт/(м· К);
 $c_b = 4186$ Дж/(кг· К); $\rho_b = 1000$ кг/м³ (рисунок 3.1).

Анализ графиков показывает, что наиболее интенсивное снижение необходимого расхода воды для поддержания установившегося режима обледенения наблюдается уже при слое льда, составляющем около 60% радиуса бака башни.

Ниже (рисунок 3.2) приведены также графики изменения степени обледенения бака при различных его диаметрах при температуре окружающего воздуха -40°C .

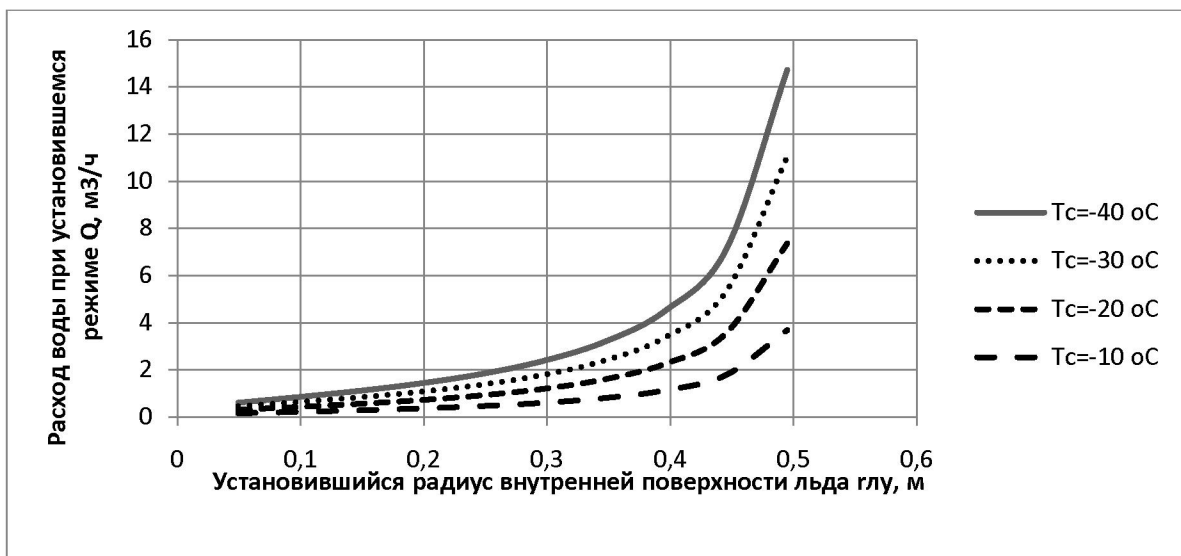


Рисунок 3.1 – Зависимость расхода воды от установившегося радиуса внутренней поверхности льда

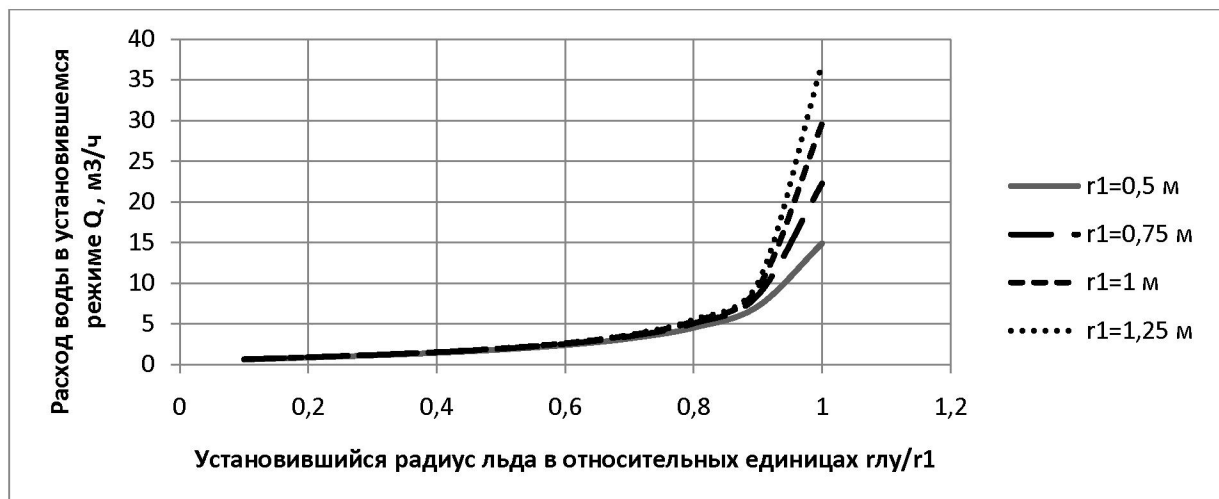


Рисунок 3.2 – Зависимость расхода воды от установившегося радиуса внутренней поверхности льда при различных диаметрах бака

Как следует из этих графиков при одной и той же степени обледенения $r_{\text{л}}/r_1$ в пределе от 0 до 0,6 в установившемся режиме требуется практически одинаковое поступление воды Q в баки различного диаметра. В то же время при меньшей степени обледенения в пределе от 0,6 и до 1 необходимый для поддержания установившегося режима приток воды, пропорционален диаметру бака.

Ниже приведены кривые зависимостей $r_{\text{л}} = f(t)$, рассчитанные с учётом этого допущения для стального бака водонапорной башни с указанными выше геометрическими размерами для различных среднесуточных значений: температуры окружающего воздуха T_c (рисунок 3.3); радиуса поверхности льда в момент отсчёта $r_{\text{лю}}$ (рисунок 3.4); притока воды Q (рисунок 3.5).

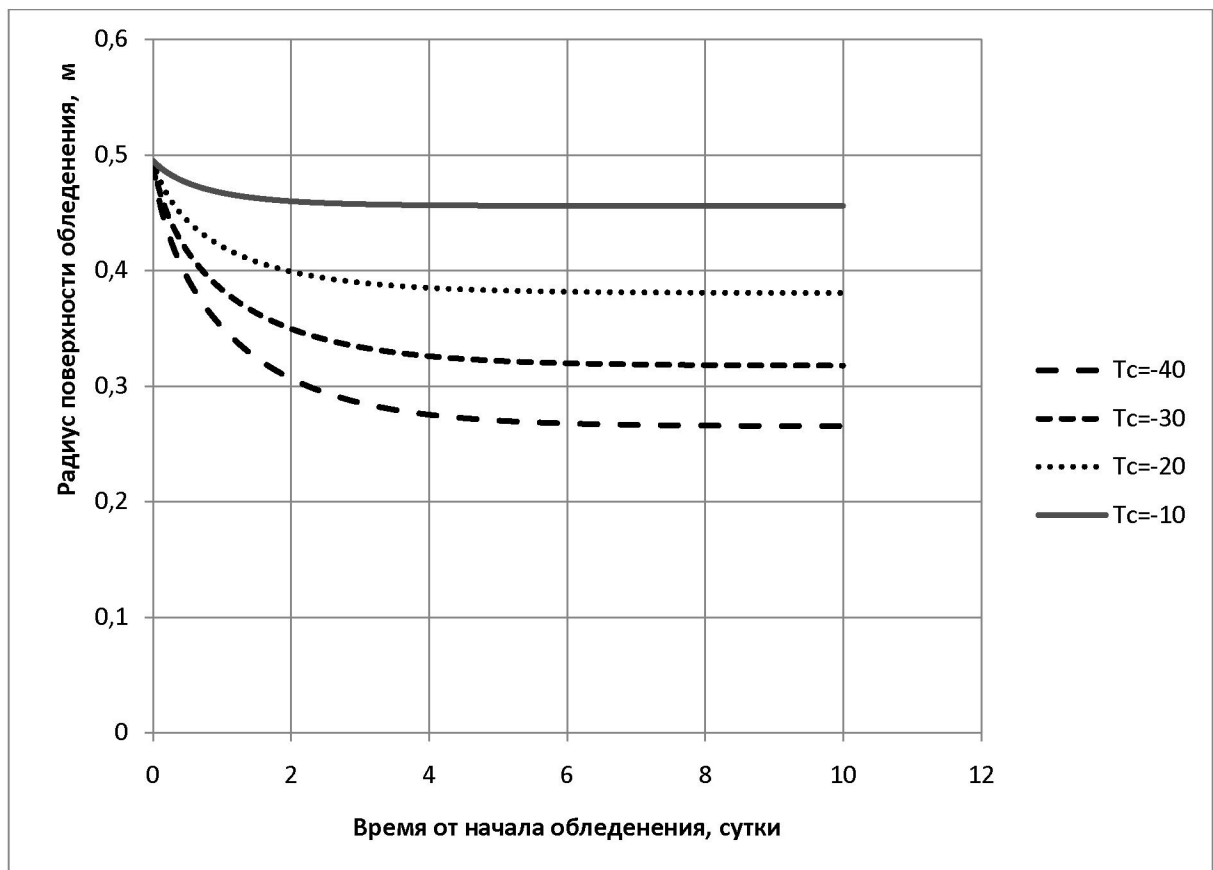


Рисунок 3.3 – Зависимость радиуса внутренней поверхности льда от времени для различных значений температуры окружающей среды при $V=10$ м/с, $Q = 2 \text{ м}^3/\text{ч}$, $r_{\text{лю}} = 0,5 \text{ м}$

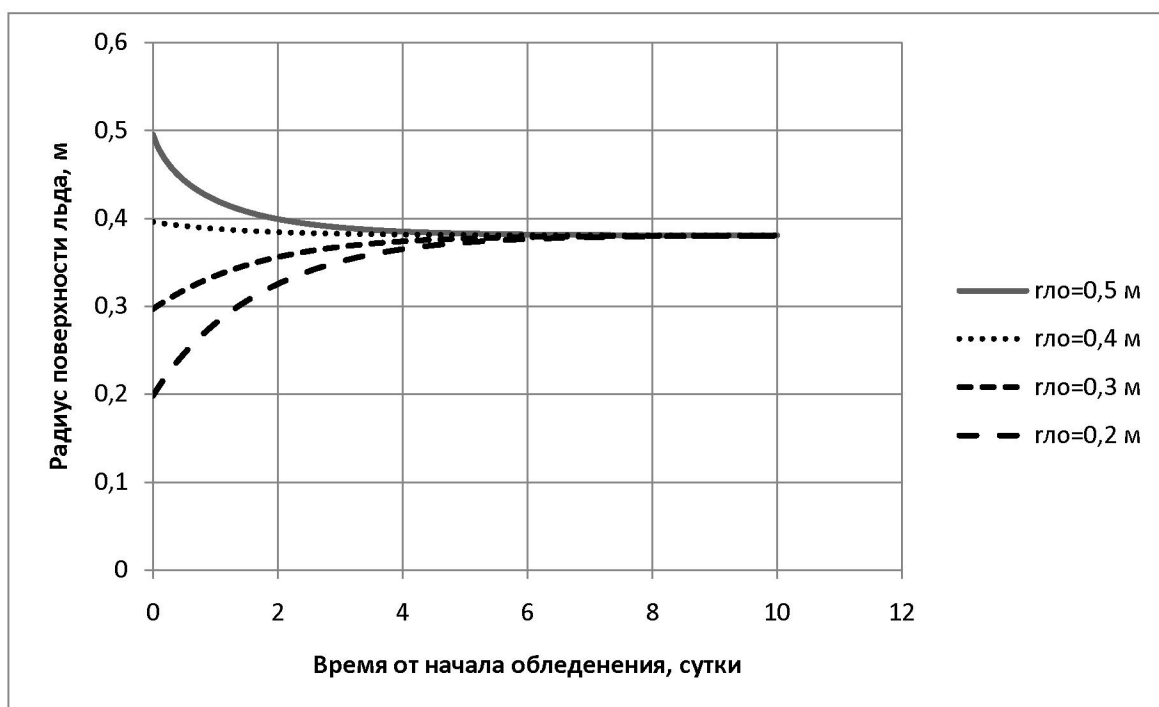


Рисунок 3.4 – Зависимость радиуса внутренней поверхности льда от времени для различных начальных значений радиуса поверхности льда при $V=10$ м/с, $Q = 2$ м³/ч, $T_c = -20$ °С

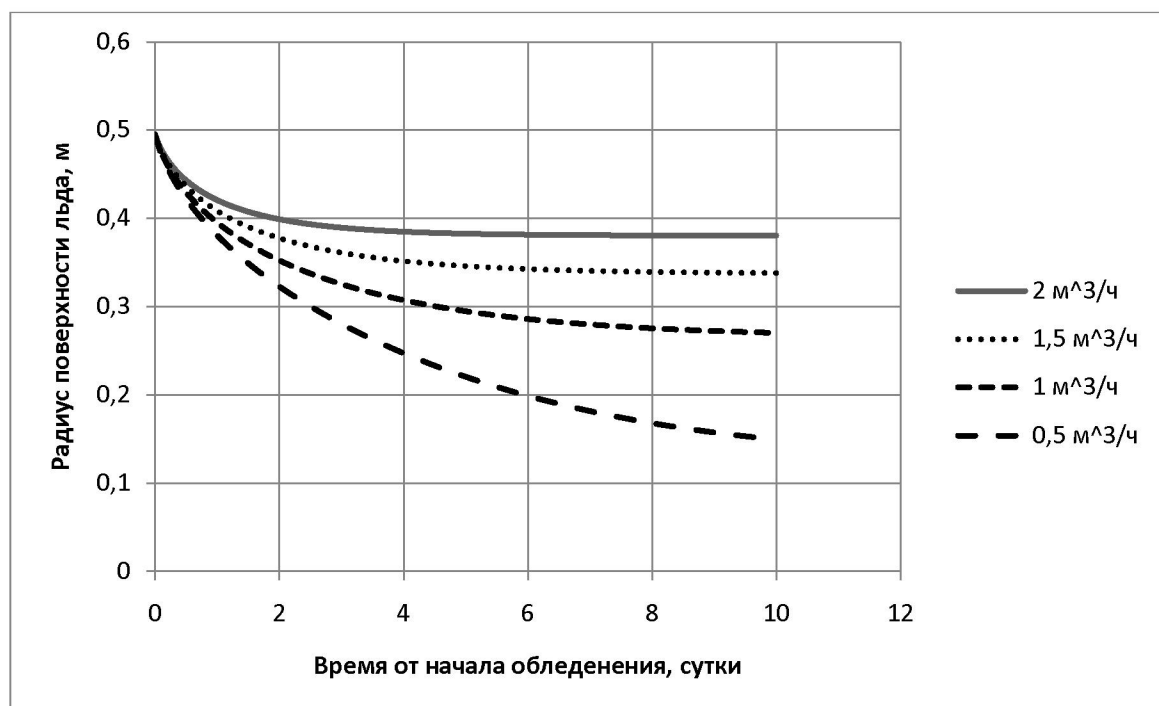


Рисунок 3.5 – Зависимость радиуса внутренней поверхности льда от времени для различных значений среднесуточного поступления воды при $V=10$ м/с, $T_c = -20$ °С, $r_{ло} = 0,5$ м

Анализ полученных зависимостей показывает, что для принятых в качестве примера размеров водонапорной башни установившийся режим обледенения наступает в среднем за время, равное 3 – 4 суткам. При этом льда в установившемся режиме намерзает на стенке башни тем больше, чем ниже среднесуточная температура окружающей среды и чем ниже приток воды в бак водонапорной башни. Однако, если соблюдается принятое допущение равенства нулю температуры воды по всему объёму башни, не происходит полного перемерзания ствола башни даже при экстремально низкой температуре и сравнительно малом объёме водопотребления. Это является наглядным доказательством целесообразности применения устройств и способов интенсификации перемешивания воды для выравнивания температуры по всему объёму водонапорной башни.

Как было сказано выше в системе водоснабжения животноводческих ферм и комплексов широкое распространение получили водонапорные башни типа бак-стойка, в связи, с чем необходимо провести эксперимент с башней такого типа.

При проведении экспериментальных исследований процесса обледенения водонапорной башни ВБР-15-У-10 для различных условий эксплуатации. Башня имеет следующие технические данные: полезный объём башни – 15 м^3 ; полный объём – 22 м^3 ; диаметр бака $D_{1Б}=2r_{1Б}= 2,5 \text{ м}$; диаметр опоры (стойки) – $D_{1С}=2r_{1С}= 0,96 \text{ м}$; высота стойки – $H_С=10 \text{ м}$; высота бака – $H_Б=3 \text{ м}$.

На рисунке 3.6 изображены графики зависимостей радиусов внутренних поверхностей льда в баке ($r_{ЛБ}$) и стойке ($r_{ЛС}$) при различных начальных значениях этих радиусов ($r_{ЛЮБ}$ и $r_{ЛЮС}$) от времени с момента наблюдения.

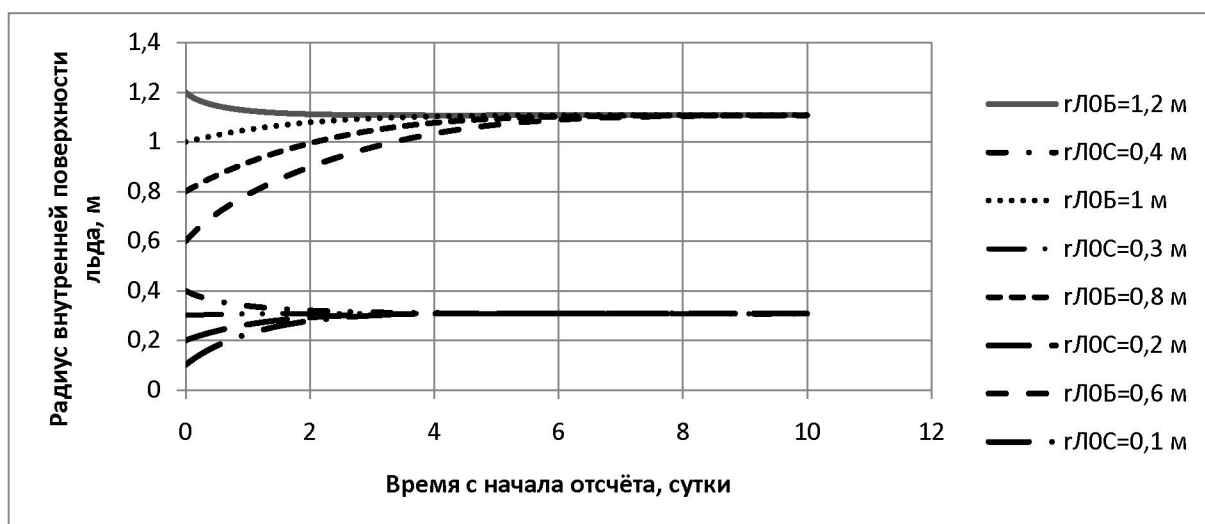


Рисунок 3.6 – Зависимость радиусов внутренних поверхностей льда в баке и стойке башни от времени обледенения при $T=-30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V=10\text{ м/с}$; $Q=4\text{ м}^3/\text{ч}$ и различных начальных значениях этих радиусов

Как видно различные начальные значения льда не влияют на величины установившихся значений радиусов обледенения [89]. В стойке радиус обледенения устанавливается значительно быстрее (примерно за 3 суток) чем в баке (за 6 суток).

На рисунке 3.7 даны кривые изменения радиусов обледенения от времени. В начальный момент лёд на стенках бака и стойки отсутствует ($r_{лос}=r_{1с}$; $r_{лоб}=r_{1б}$)

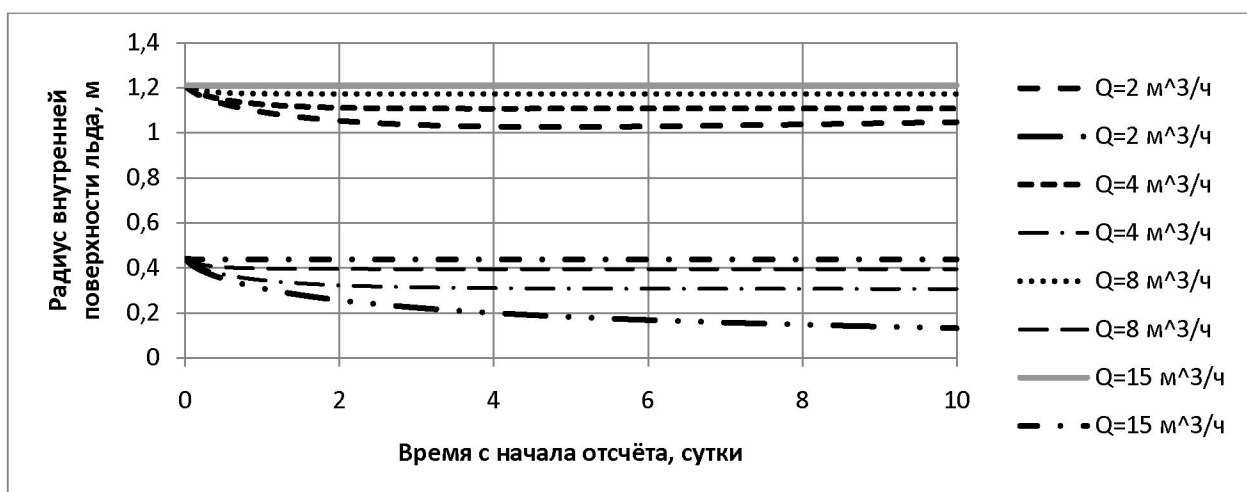


Рисунок 3.7 – Зависимость радиусов внутренних поверхностей льда в баке и стойке башни от времени обледенения при $T=-30\text{ }^{\circ}\text{C}$; $V=10\text{ м/с}$; $r_{лоб}=1,21\text{ м}$; $r_{лос}=0,44\text{ м}$ и различных значениях $Q=(2; 4; 8; 15)\text{ м}^3/\text{ч}$

С уменьшением притока воды в башню радиусы обледенения стойки и бака уменьшаются, т. е. происходит накопление льда тем в большей степени, чем меньше приток воды. Установившийся режим наступает также за время от 0,5 до 3-х – 4-х суток. И только при $Q=2 \text{ м}^3/\text{ч}$ переходный режим растягивается до 10-ти и более суток.

Ниже (рисунок 3.8) даны кривые изменения радиусов обледенения от времени при различных температурах окружающей среды. В начальный момент лёд на стенках бака и стойки также отсутствует ($r_{\text{ЛЮС}} = r_{\text{ЛС}}$; $r_{\text{ЛЮБ}} = r_{\text{ЛБ}}$)

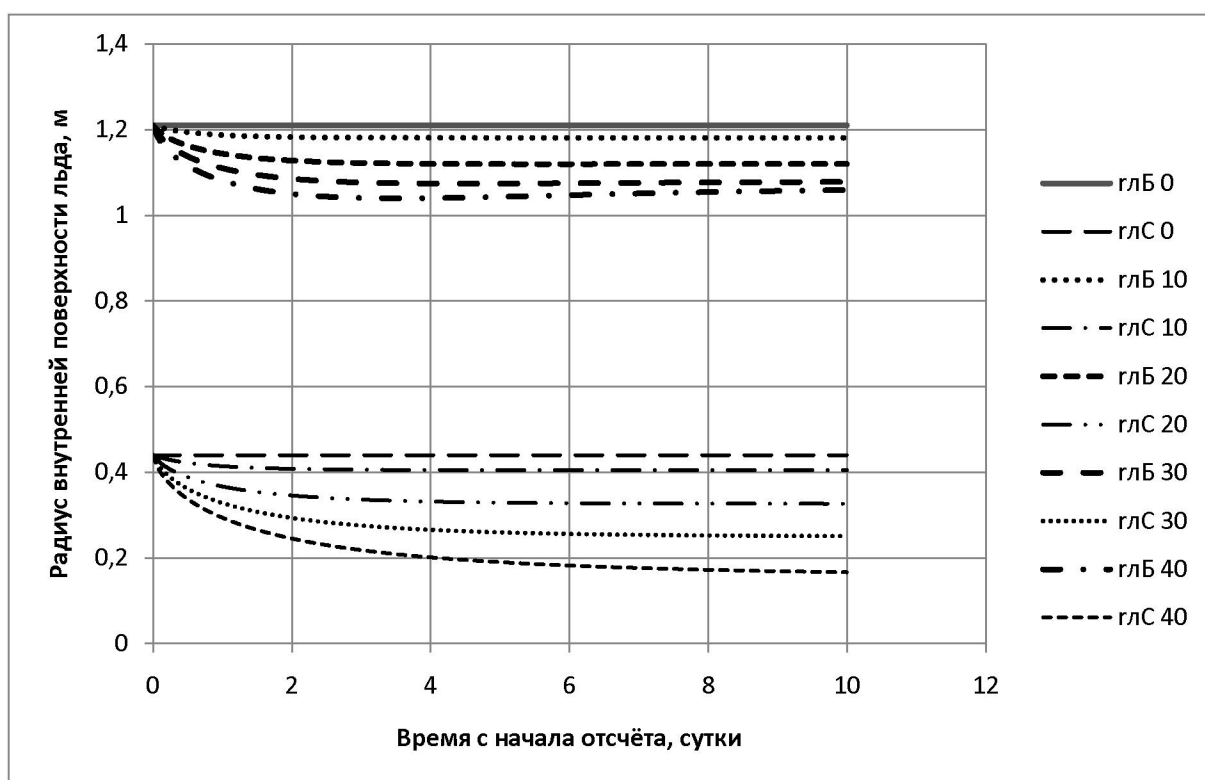


Рисунок 3.8 – Зависимость радиусов внутренних поверхностей льда в баке и стойке башни от времени обледенения при $Q=3 \text{ м}^3/\text{ч}$; $V=10 \text{ м/с}$; $r_{\text{ЛБ}}=1,21 \text{ м}$; $r_{\text{ЛС}}=0,44 \text{ м}$ и различных значениях температуры окружающего воздуха $T=(0; -10; -20; -30; -40) \text{ } ^\circ\text{C}$

Просматривается явное увеличение толщины льда на стенках бака и стойки с понижением температуры окружающего воздуха.

Влияние скорости ветра, обдувающего водонапорную башню, наглядно отражается на графиках изменения во времени степени обледенения внутренних полостей стойки и бака (рисунок 3.9).

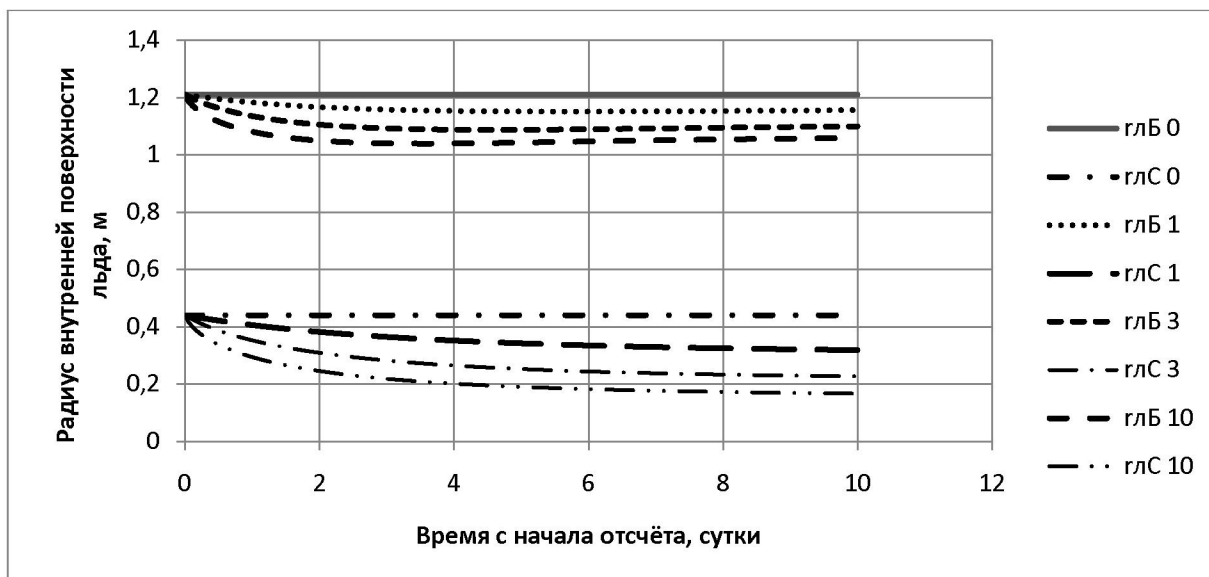


Рисунок 3.9 – Зависимость радиусов внутренних поверхностей льда в баке и стойке башни от времени обледенения при $Q=3 \text{ м}^3/\text{ч}$; $T= -40 \text{ }^\circ\text{C}$; $r_{ЛБ}=1,21 \text{ м}$; $r_{ЛС}=0,44 \text{ м}$ и различных значениях скорости ветра: $r_{ЛБ}(0;1;3;10)$ и $r_{ЛС}(0;1;3;10)$ радиусы обледенения соответственно бака и стойки при $V=(0; 1; 3; 10) \text{ м/с}$

Как следует из приведённой серии графиков, обледенение стенок в заданных условиях не происходит при отсутствии движения воздуха. В то же время с увеличением скорости ветра наледь появляется на стенках и бака, и стойки башни. При чём интенсивность нарастания льда с увеличением скорости ветра выше 3 м/с постепенно ослабевает.

На нижеприведённых графиках (рисунок 3.10 – 3.13) иллюстрируются зависимости изменения степеней обледенения бака и стойки башни при поочерёдном изменении факторов, влияющих на процесс обледенения. В отличие от графиков, приведённых выше, процесс обледенения начинается с момента, когда полости бака и стойки частично заполнены льдом.

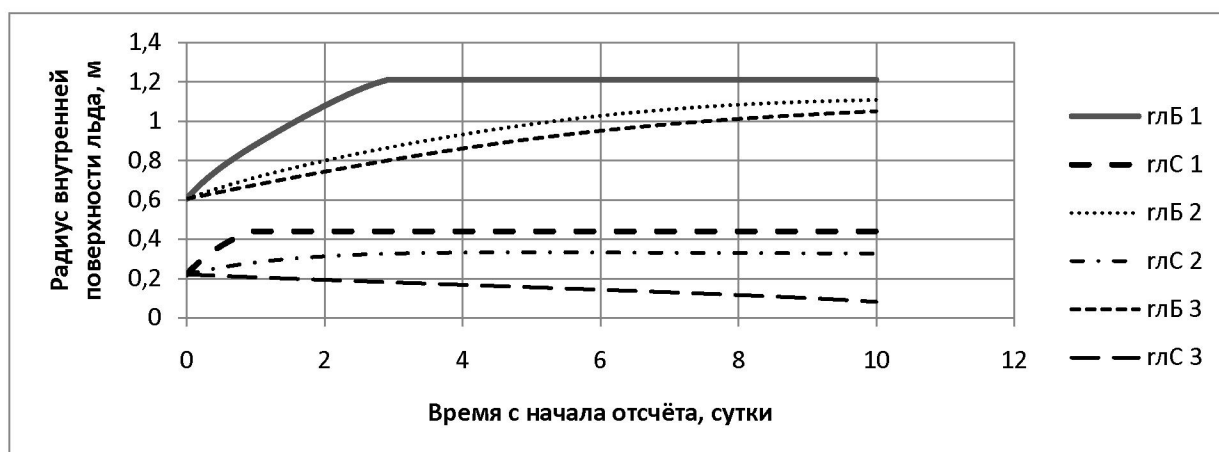


Рисунок 3.10 – Зависимость радиусов внутренних поверхностей льда в баке и стойке башни от времени обледенения при $V=10$ м/с; $r_{\text{ЛЮБ}}=0,605$ м; $r_{\text{ЛЮС}}=0,22$ м; и условиях: $r_{\text{ЛБ1}}, r_{\text{ЛС1}} - (Q=8 \text{ м}^3/\text{ч}; T=-10^\circ\text{C})$; $r_{\text{ЛБ2}}, r_{\text{ЛС2}} - (Q=3 \text{ м}^3/\text{ч}; T=-20^\circ\text{C})$; $r_{\text{ЛБ3}}, r_{\text{ЛС3}} - (Q=2,5 \text{ м}^3/\text{ч}; T=-40^\circ\text{C})$

В условиях $r_{\text{ЛБ1}}, r_{\text{ЛС1}}$ происходит уменьшение слоя льда, как в полости бака, так и полости стойки до полного его исчезновения. В условиях $r_{\text{ЛБ2}}, r_{\text{ЛС2}}$ слои уменьшаются, но лёд полностью не исчезает и устанавливается на новых фиксированных уровнях. В условиях $r_{\text{ЛБ3}}, r_{\text{ЛС3}}$, более жёстких по влиянию на интенсивность льдообразования (малый приток воды, низкая температура воздуха), в баке слой льда хотя и уменьшается, но остаётся на более высоком уровне, а в стойке наоборот происходит увеличение слоя льда.



Рисунок 3.11 – Зависимость радиусов внутренних поверхностей льда в баке и стойке башни от времени обледенения при $V=(0; 1; 3; 10)$ м/с; $r_{\text{ЛЮБ}}=0,9$ м; $r_{\text{ЛЮС}}=0,2$ м; $Q=2 \text{ м}^3/\text{час}$; $T=-30^\circ\text{C}$

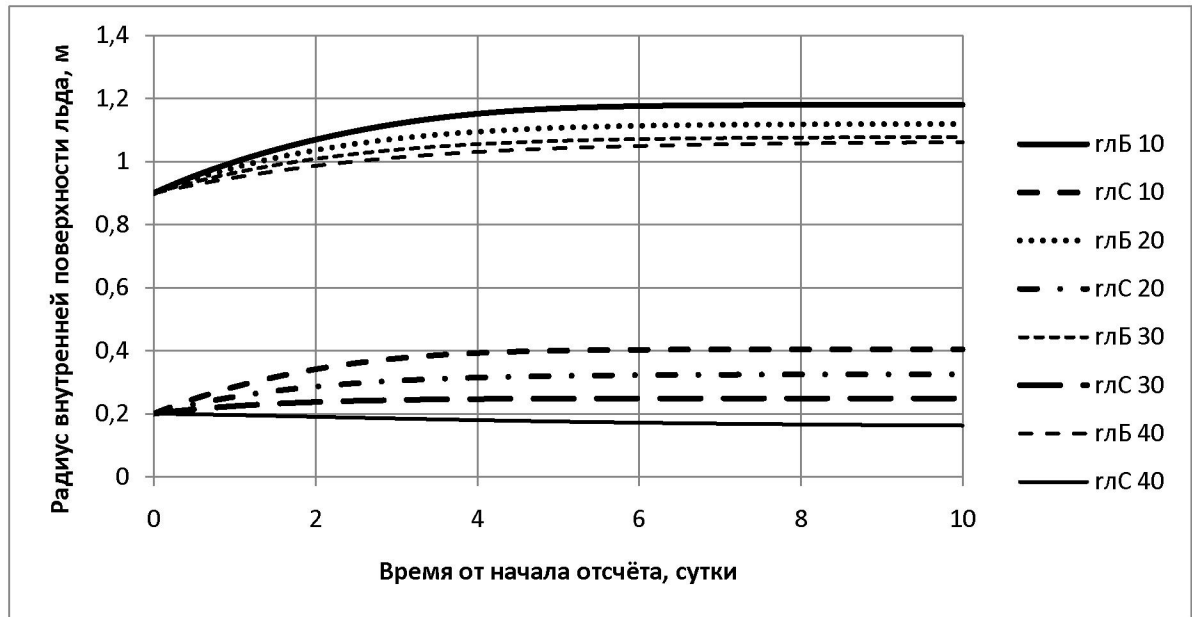


Рисунок 3.12 – Зависимость радиусов внутренних поверхностей льда в баке и стойке башни от времени обледенения при $V=10$ м/с; $r_{лЮБ}=0,9$ м; $r_{лЮС}=0,2$ м; $Q=3$ м³/час; $T=(-10; -20; -30; -40)$ °C

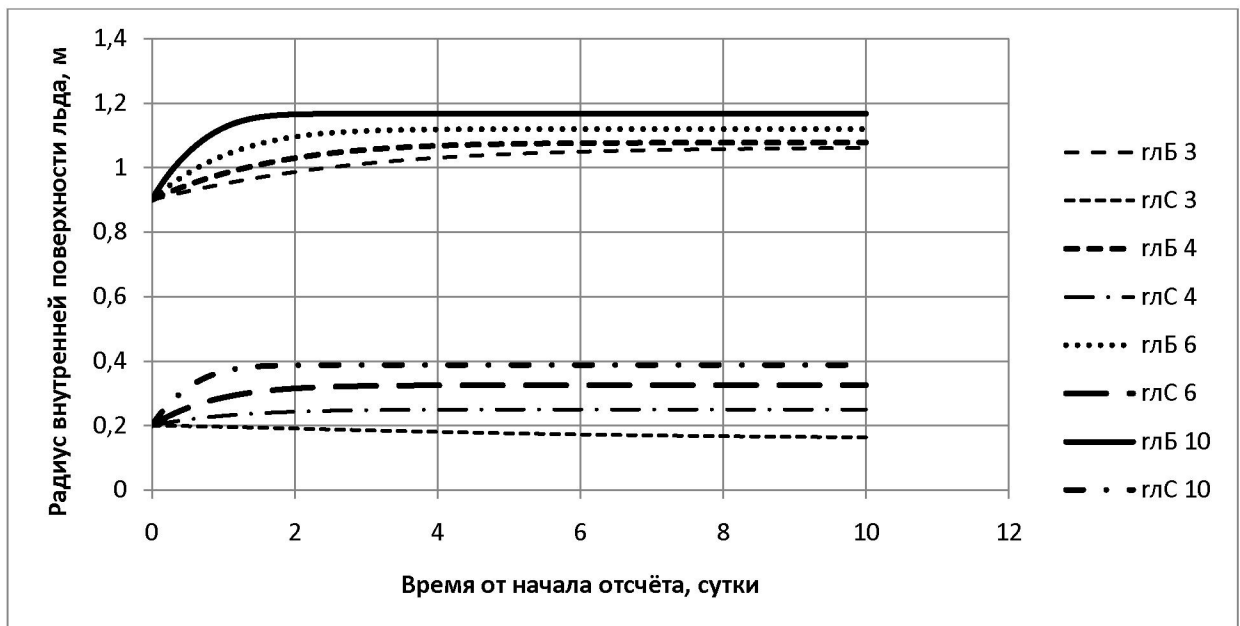


Рисунок 3.13 – Зависимость радиусов внутренних поверхностей льда в баке и стойке башни от времени обледенения при $V=10$ м/с; $r_{лЮБ}=0,9$ м; $r_{лЮС}=0,2$ м; $Q=(3; 4; 6; 10)$ м³/час; $T=-40$ °C

Во всех представленных случаях при изменении одного из факторов наблюдается переход установившегося радиуса обледенения на новый в

заданных условиях эксплуатации уровень, соответствующий уровню воздействия этого фактора на интенсивность обледенения. При этом происходит или увеличение слоя льда, если установившееся его значение больше начального, или в противном случае – уменьшение.

3.2 Оценка влияния дополнительных источников тепла на интенсивность обледенения

Во всех, рассмотренных в предыдущих разделах, случаях обледенение не достигает критической величины даже при наименьшей средней температуре окружающей среды (-40°C) и наибольшей средней скорости ветра (10 м/с), если поступление воды в башню не снижается ниже $2\text{ м}^3/\text{ч}$. Естественно, что этот вывод корректен, как было показано выше, при условии интенсивного перемешивания воды и, как следствие, выравнивания её температуры по всему объёму башни. При этом средствами, предложенными в разделе 2.2 данной работы, ликвидируются застойные зоны, улучшается обмен воды, заполняющей бак, происходит более полное использование тепла приточной воды.

Однако при сниженном притоке воды менее $2\text{ м}^3/\text{ч}$ обледенение, в первую очередь стойки башни, превышает допустимую для нормального функционирования башни величину. А именно такой приток наиболее вероятен для мелких фермерских хозяйств.

Поэтому для решения проблемы обледенения в этом случае возможны два варианта.

Первый из них следует из того, что перемерзает сначала стойка башни, а затем, при дальнейшем ухудшении погодных характеристик бак водонапорной башни, поскольку он имеет больший диаметр (см. рисунок 3.12 и 3.13). Следовательно, особенно в случаях расположения водонапорной

башни на возвышенности, целесообразно диаметр стойки башни увеличить вплоть до диаметра бака.

Второй вариант – использовать дополнительные источники тепловой энергии для подогрева воды в ёмкости [172,175,177,180,181]. Для этой цели наиболее выгодно использовать альтернативные источники энергии [171], например, как было предложено в разделе 2.1 ветроагрегаты или солнечные батареи. Однако солнечные батареи для указанной цели подходят менее всего, так как в зимнее время, когда они наиболее востребованы, их энергоотдача чрезвычайно мала.

Ветроагрегат, расположенный на крышке водонапорной башни (рисунок 2.2), выполняет в основном функцию интенсификации конвективных процессов в баке и стойке водонапорной башни и ликвидацию застоя воды в зонах её ёмкостей. Однако при достаточной мощности он может обеспечивать и дополнительный подвод энергии, обеспечивая повышение устойчивости водонапорной башни к обледенению.

Рассмотрим, насколько эффективно его применение именно в плане дополнительного подвода энергии.

Как известно, мощность, развиваемая ветроагрегатом, пропорциональна ометаемой им площади и кубу скорости ветра [132]

$$P_{BA} = \xi \rho S V^3 / 2, \quad (3.1)$$

где ξ – коэффициент использования энергии ветра,

ρ – плотность воздуха, кг/м^3 ,

S – ометаемая площадь, м^2 ,

V – скорость ветра, м/с .

В установившемся режиме обледенения водонапорной башни эта мощность, суммируясь с мощностью поступления тепла с приточной водой P_B , покрывает мощность теплопотерь водонапорной башни. Следовательно, при заданной мощности поступления тепла с приточной водой P_B мощность

ветроагрегата P_{BA} , необходимая для поддержания установившегося режима при различных значениях относительного радиуса обледенения башни r_{ly}/r_1

$$P_{BA} = P_{\Pi} - P_B. \quad (3.2)$$

Подставив в данное выражение значения P_{Π} и P_B , получим

$$P_{BA} = \frac{1}{\frac{1}{2\pi H \lambda_l \ln \frac{r_1}{r_l}} + \frac{1}{2\pi H \lambda_c \ln \frac{r_2}{r_1}} + \frac{1}{2\pi r_2 H \alpha}} \theta_{вс} - c_B \rho_B Q \theta_B, \quad (3.3)$$

Данное уравнение позволяет построить графики зависимостей необходимой мощности ветроагрегата от относительного радиуса обледенения башни. На рисунке 3.14 построен такой график при различных расходах воды и наиболее жёстких условиях охлаждения башни: скорости ветра $V=10$ м/с и температуре окружающей среды -40 °С.

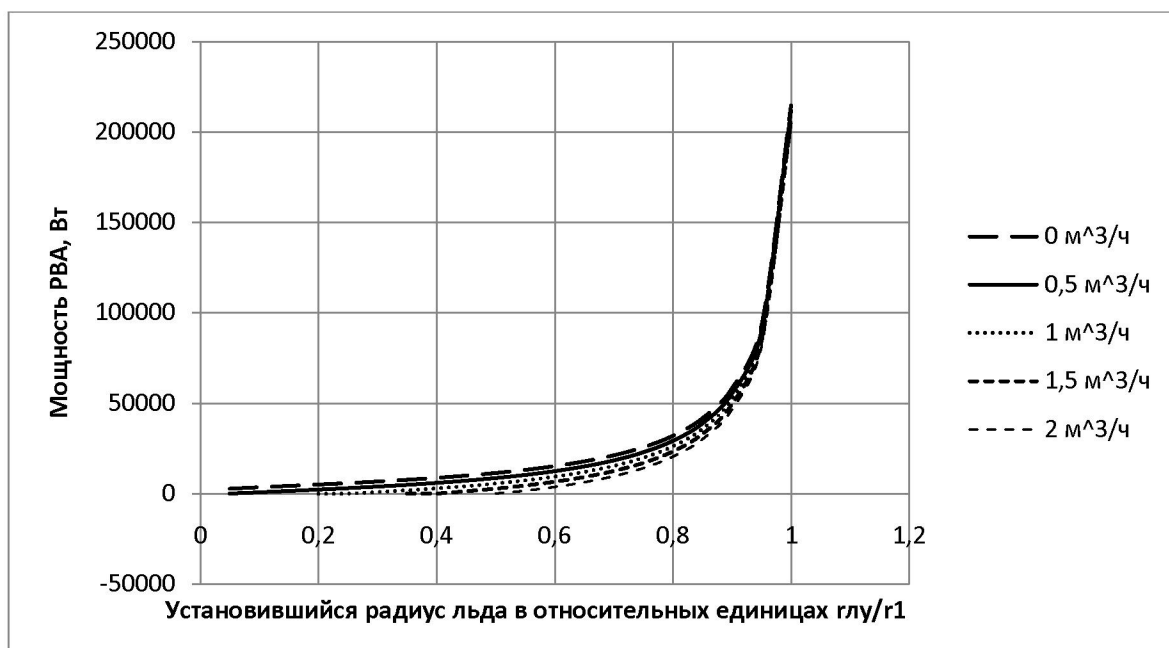


Рисунок 3.14 – Зависимость мощности ветроагрегата, необходимой для поддержания установившегося режима, от установившегося радиуса поверхности льда при $H=15$ м; $r_1=1.25$ м; $r_2=1,255$ м; $Q=(0; 0,5; 1; 1,5; 2)$ м³/ч

Анализ кривых показывает, что при относительном радиусе поверхности льда от 0,8 до 1 необходимая мощность ветроагрегата достигает неприемлемо большой величины и практически не зависит от расхода воды

из водопроводной башни. В то же время в пределах радиуса льда от 0 до 0,6 необходимая мощность ветроагрегата вполне может быть технически реализована и экономически оправдана. На рисунке 3.15 изображены кривые её изменения в этом пределах в увеличенном масштабе.

Как видим, необходимая мощность уменьшается с увеличением расхода воды. В то же время выше было показано, что необходимый расход воды в пределах изменения относительного радиуса от 0 до 0,6 практически не зависит от диаметра бака. То же самое можно отметить и для необходимой мощности ветроагрегата. На рисунке 3.16 даны кривые изменения необходимой мощности для бака в 2,5 раза меньшего диаметра.

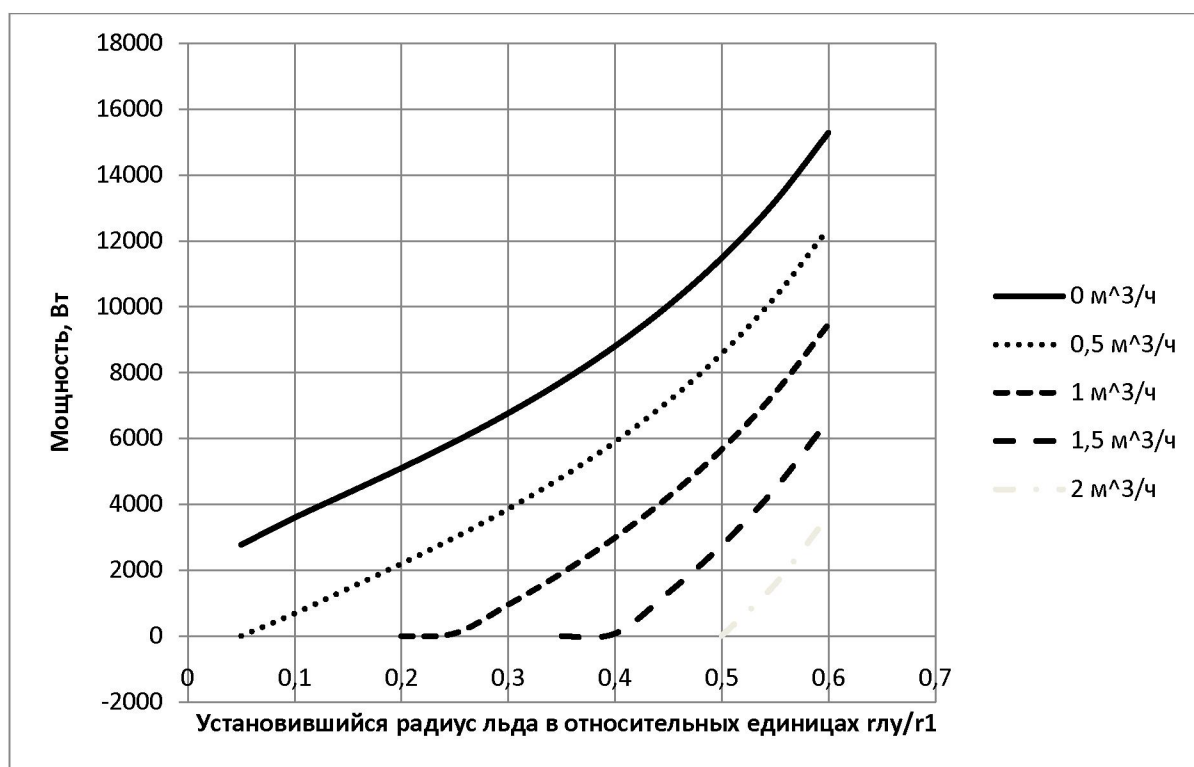


Рисунок 3.15 – Зависимость мощности ветроагрегата, необходимой для поддержания установившегося режима, от установившегося радиуса поверхности льда в пределах относительного радиуса льда от 0 до 0,6 при $H=15$ м; $r_1=1.25$ м; $r_2=1,255$ м; $Q=(0; 0,5; 1; 1,5; 2)$ м³/ч

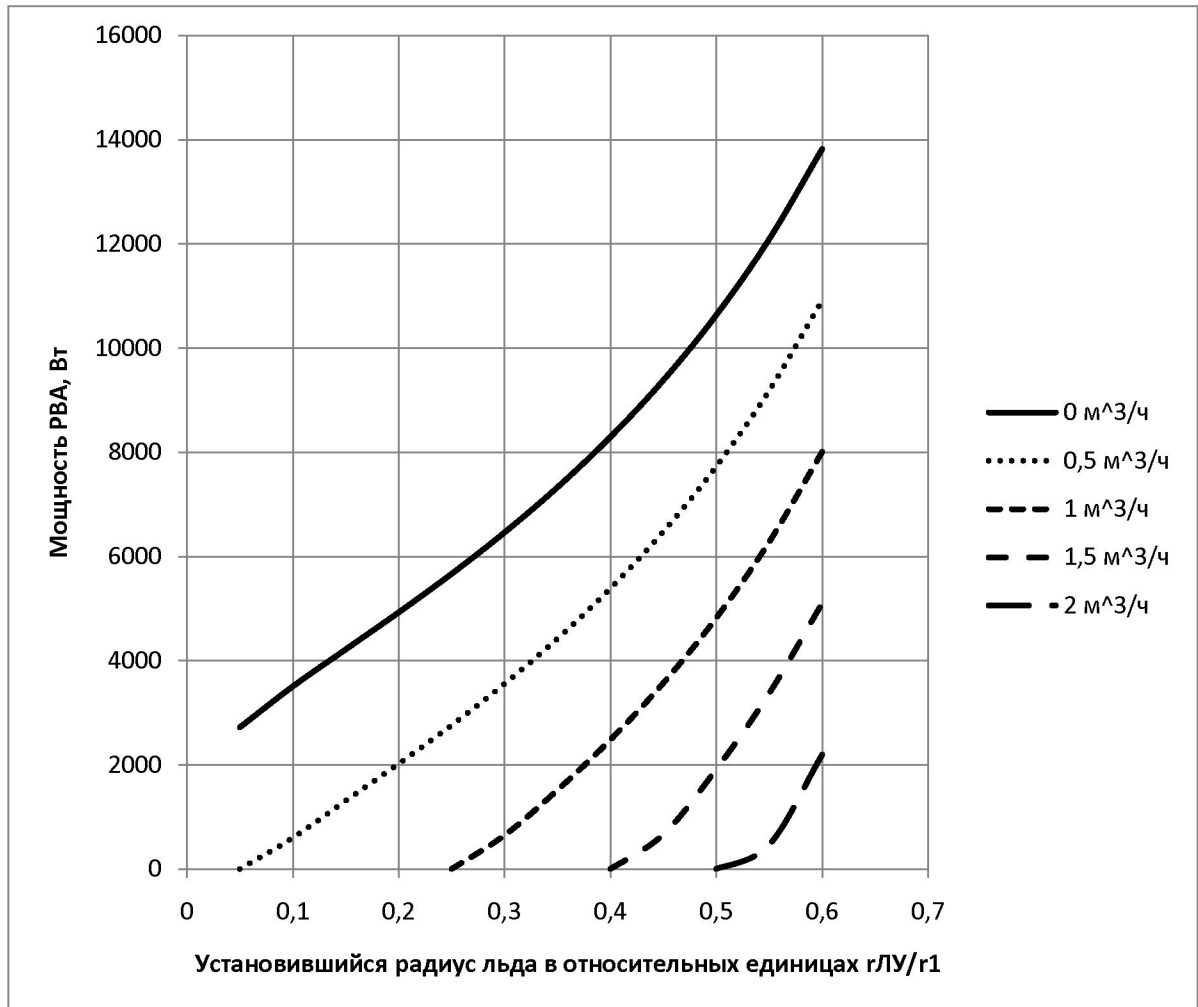


Рисунок 3.16 – Зависимость мощности ветроагрегата, необходимой для поддержания установившегося режима, от установившегося радиуса поверхности льда в пределах относительного радиуса льда от 0 до 0,6 при $H=15 \text{ м}$; $r_1=0,5 \text{ м}$; $r_2=0,505 \text{ м}$; $Q=(0; 0,5; 1; 1,5; 2) \text{ м}^3/\text{ч}$

Несмотря на такую большую разницу диаметров кривые изменения необходимой мощности ветроагрегата на рисунках 3.15 и 3.16 почти не отличаются. Что же касается необходимой мощности ветроагрегата для поддержания соответствующих установившихся режимов в пределах изменения относительного радиуса обледенения от 0,8 до 1, то она при уменьшении диаметра бака уменьшается фактически пропорционально диаметру (рисунок 3.17).

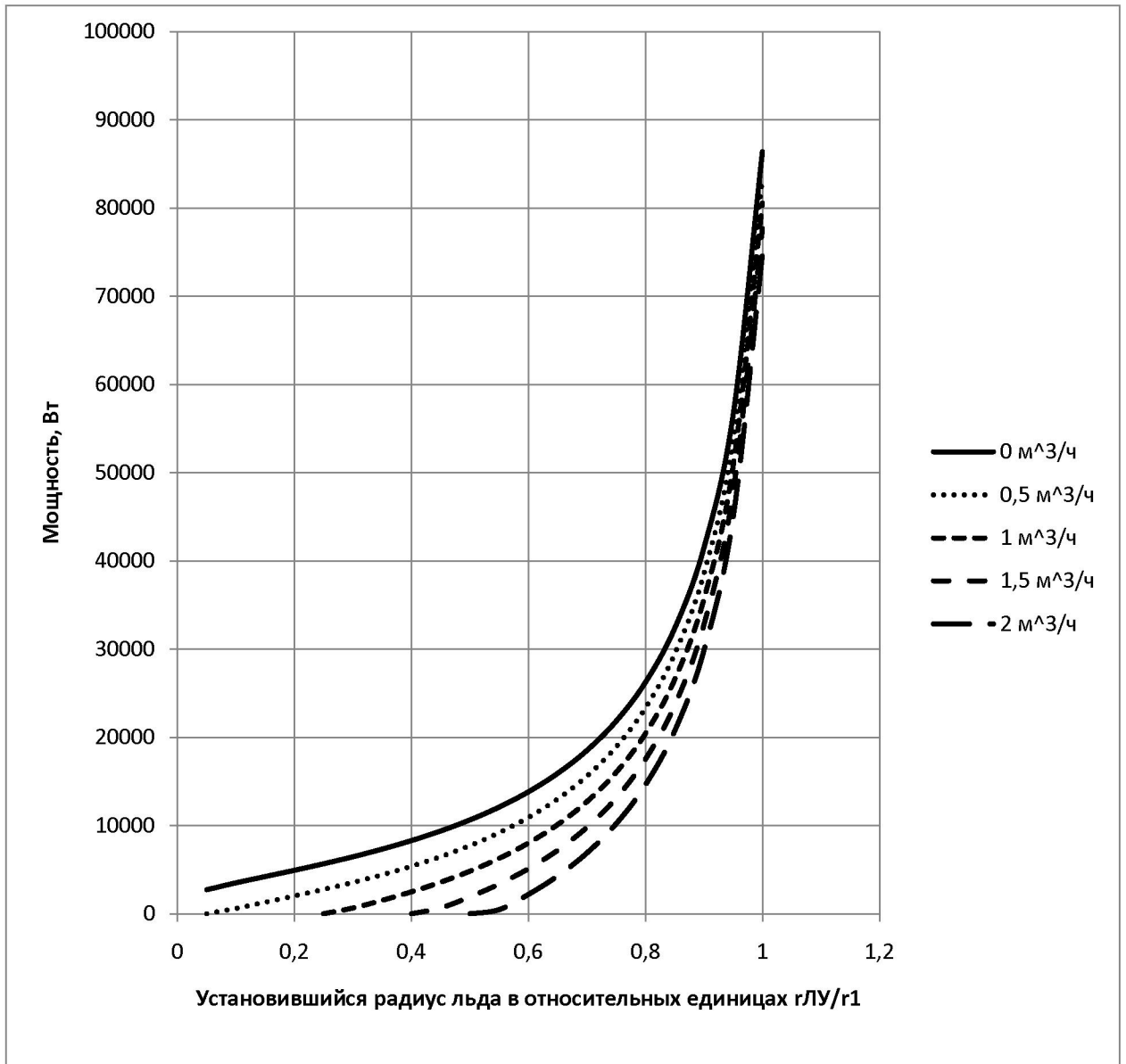


Рисунок 3.17 – Зависимость мощности ветроагрегата, необходимой для поддержания установившегося режима, от установившегося радиуса поверхности льда при $H=15$ м; $r_1=0,5$ м; $r_2=0,505$ м; $Q=(0; 0,5; 1; 1,5; 2)$ м³/ч

Влияние на величину необходимой мощности ветроагрегата высоты бака также можно оценить по виду уравнения (3.3). На рисунке 3.18 для наглядности приведены кривые зависимостей необходимой мощности ветроагрегата от относительного радиуса поверхности льда при различных высотах бака башни, построенные в результате решения уравнения (3.3).

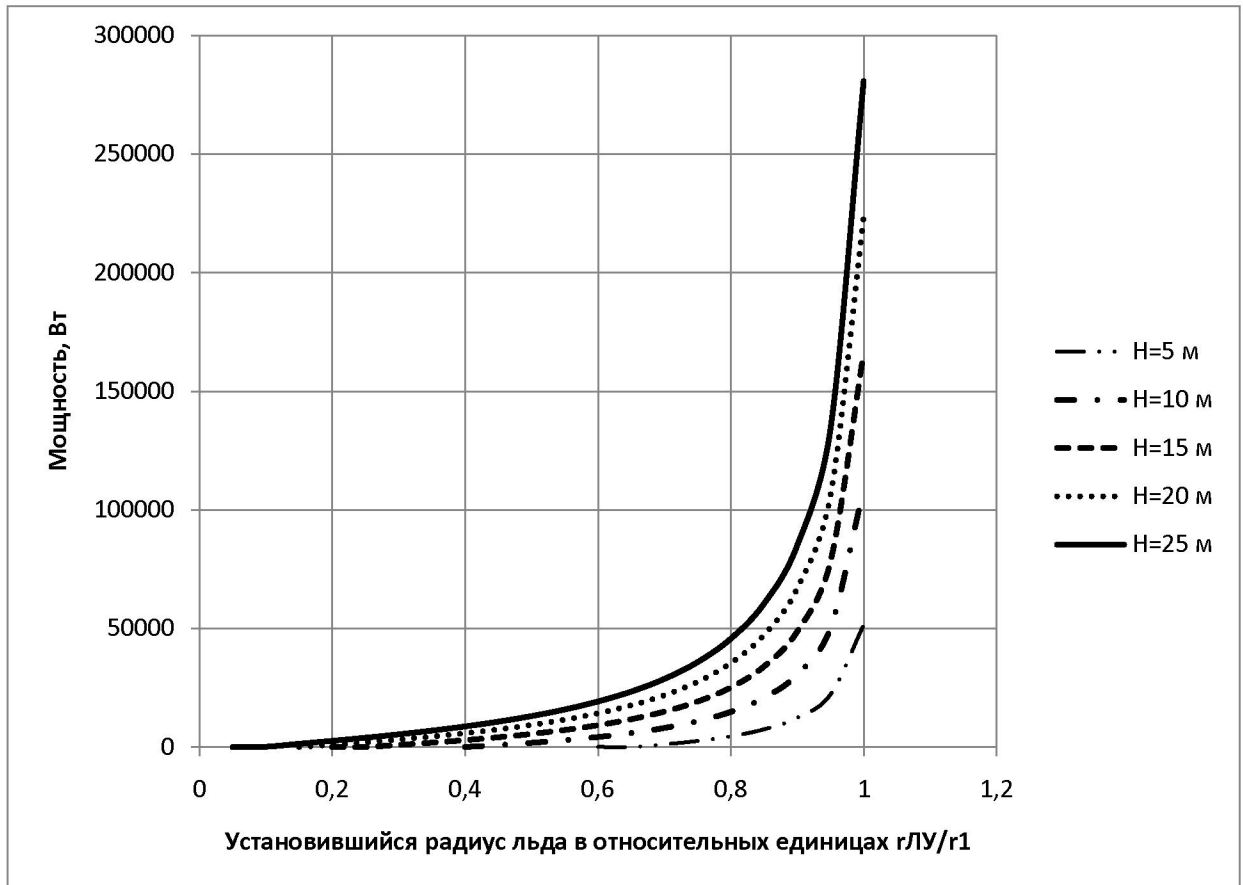


Рисунок 3.18 – Зависимость мощности ветроагрегата, необходимой для поддержания установившегося режима, от установившегося радиуса поверхности льда при; $r_1 = 1$ м; $r_2 = 1,005$ м; $Q = 1$ м³/ч; $H = (5; 10; 15; 20; 25)$ м

Наглядно просматривается увеличение необходимой мощности с увеличением высоты бака башни при всех установившихся радиусах поверхности льда.

При фиксированных радиусах необходимая мощность ветроагрегата возрастает с увеличением высоты бака линейно. При этом её величина с увеличением толщины слоя льда увеличивается, а кривая зависимости $P=f(H)$ имеет более крутой характер (рисунок 3.19).

Для осуществления теоретического анализа влияния мощности дополнительно подводимого тепла в воду, находящуюся в ёмкости водонапорной башни, выполненной по схеме «бак-стойка», в уравнениях (2,23, 2.44 и 2.58) мощность P_B заменим на $P_B + P_{BA}$. Далее путём решения

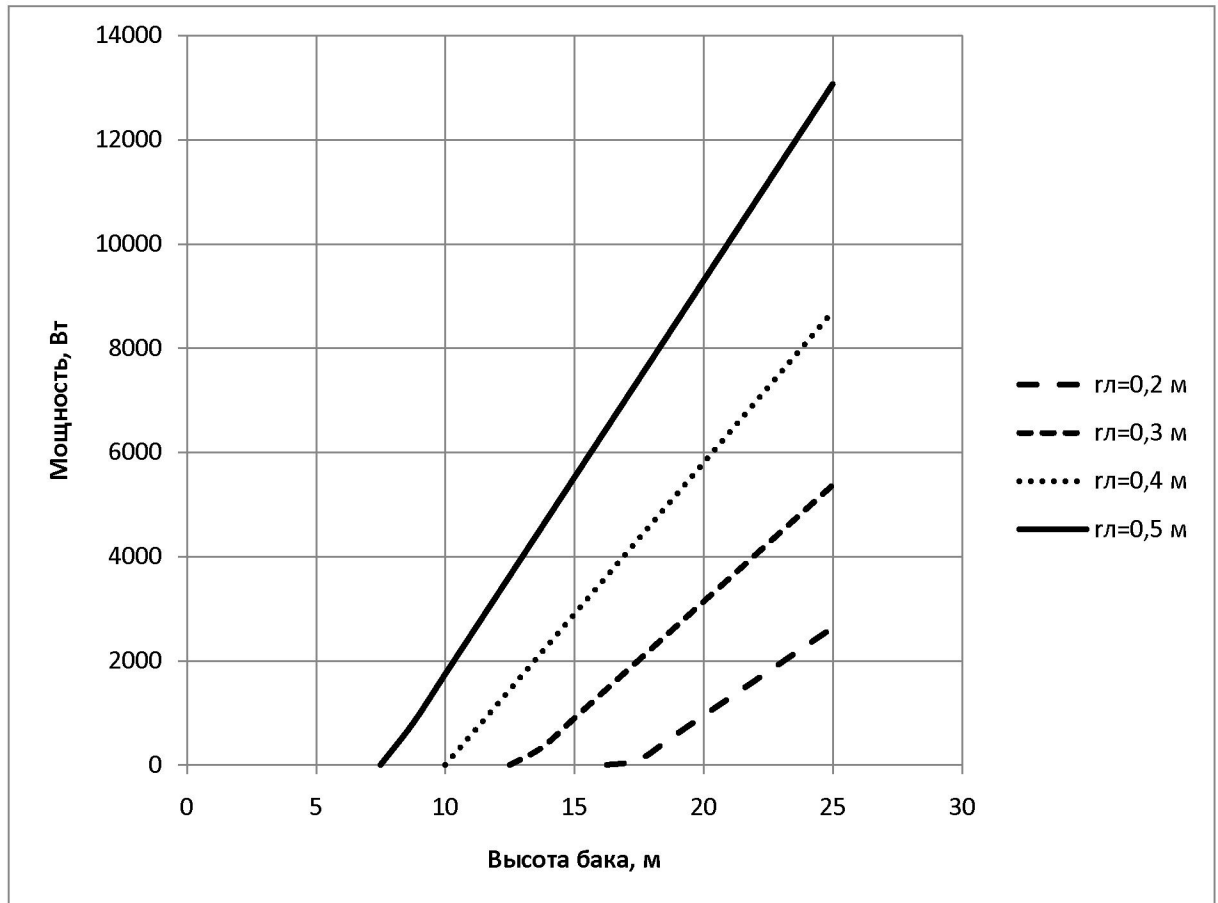


Рисунок 3.19 – Зависимость мощности ветроагрегата, необходимой для поддержания установившегося режима, от высоты башни при: $r_1 = 1$ м; $r_2 = 1,005$ м; $Q = 1$ м³/ч; $r_{л} = (0,2; 0,3; 0,4; 0,5)$ м

дифференциального уравнения (2.58) с помощью алгоритма (рисунок 2.11) получим зависимости относительного радиуса внутренней поверхности льда от времени обледенения.

На рисунке 3.20 в качестве примера приведены такие зависимости для водонапорной башни ВБР-15-У-10 для различных значений мощности ветроагрегата.

Полученные кривые зависимостей позволяют определить установившийся радиус обледенения для различных значений мощности ветроагрегата и в результате построить график зависимости установившегося радиуса обледенения от мощности ветроагрегата. Такой график для водонапорной башни ВБР-15-У-10 приведён на рисунке 3.21.

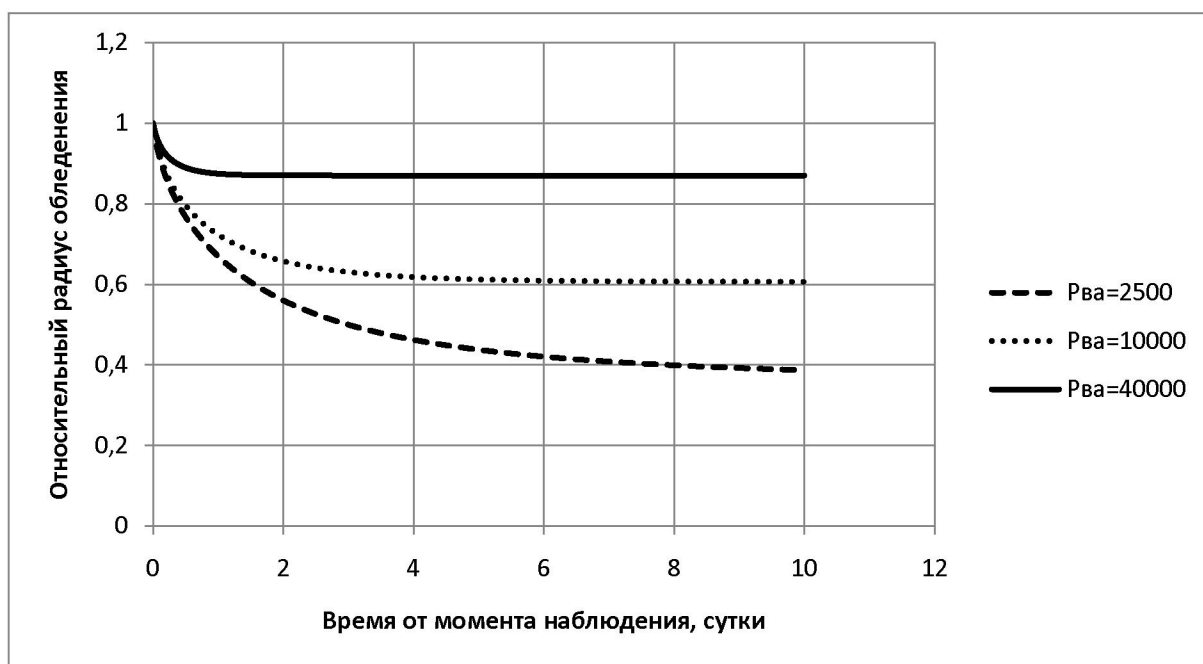


Рисунок 3.20 – Зависимость относительного радиуса обледенения ($r_{лс}/r_{1с}$) от времени с момента наблюдения при $r_1=0,44$ м; $r_2=0,48$ м; $Q=2,6$ м³/ч; $P_{BA}=(2500; 10000; 40000)$ Вт

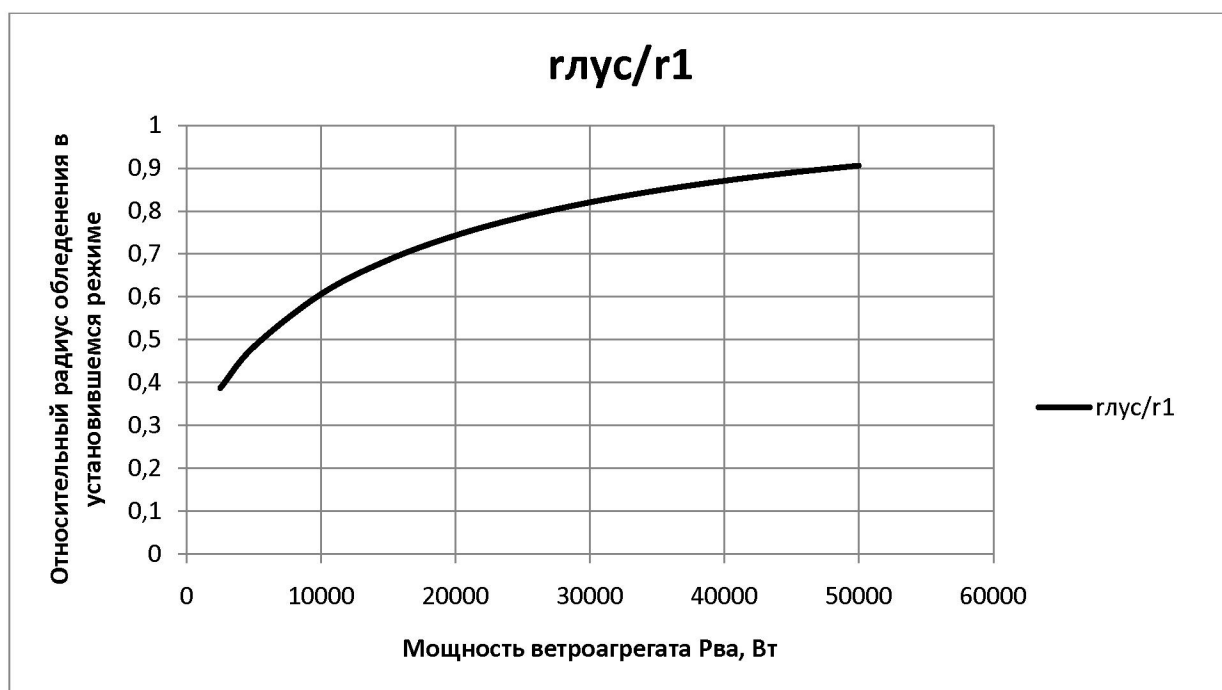


Рисунок 3.21 – Зависимость относительного радиуса обледенения стойки ($r_{лс}/r_{1с}$) в установившемся режиме от мощности ветроагрегата при: $r_1=0,44$ м; $r_2=0,48$ м; $Q=2,6$ м³/ч; $V=10$ м/с; $T=-40$ °С

Анализ полученного графика показывает, что при приемлемом относительном радиусе обледенения стойки водонапорной башни, равном 0,4, необходимая мощность ветроагрегата равна 2,5 кВт. Это в свою очередь позволяет, воспользовавшись уравнением 3.4, определить ометаемую ветротурбиной площадь

$$S = 2 P_{\text{BA}} / \xi \rho V^3. \quad (3.4)$$

Приняв коэффициент использования энергии ветра для ветротурбины с горизонтальной осью вращения равным 0,4 и скорость ветра для принятых условий эксплуатации 10 м/с, получим

$$S = 2 \cdot 2500 / (0.4 \cdot 1.29 \cdot 10^3) = 9,69 \text{ м}^2,$$

а радиус ветротурбины

$$R_T = \sqrt{S/\pi} = 1.76 \text{ м}. \quad (3.5)$$

Для ветротурбины с вертикальной осью вращения площадь ометаемой поверхности с учётом того, что коэффициент использования ветра этой ветротурбины равен 0,12,

$$S = 2 \cdot 2500 / (0.12 \cdot 1.29 \cdot 10^3) = 32,3 \text{ м}^2,$$

а радиус при высоте 5 м 3,2 м.

Для проведения технических испытаний и определения режимных характеристик в рамках специализированных лабораторий и электромеханических мастерских ОГАУ были изготовлены экспериментальные установки. Они обеспечили реализацию частных исследовательских методик, учитывающих специфику внедряемого процесса, недоступную для серийного лабораторного оборудования.

3.3 Определение характеристик теплообменного процесса между водой и грунтом для подземной части емкости водонапорной башни

3.3.1 Экспериментальная установка

Схема лабораторной установки предназначенной для изучения процесса изменения температуры воды в подземной стальной емкости в зимнее время года (рисунок 3.22) состоит из металлической емкости 1 цилиндрической формы, сверху, которой расположен теплоизоляционный материал 2 (ПСБ–С-25), исключаящий теплообмен с окружающей средой. Емкость помещена в грунт 3 и залита водой 4, между которой и собственно грунтовой массой через стальную стенку происходит теплообмен [12,91,93].

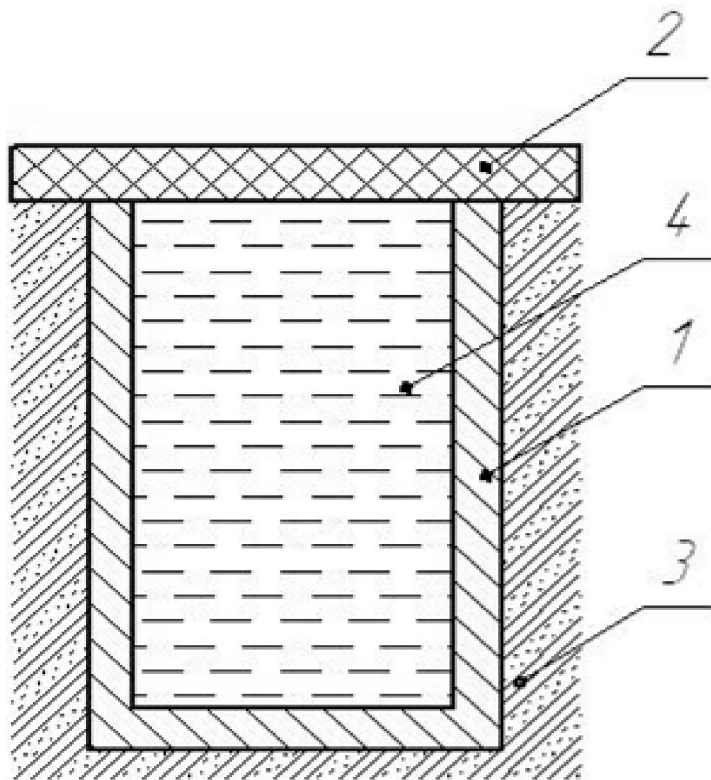


Рисунок 3.22 – Схема экспериментальной установки для исследования влияния радиогенной энергии на температуру воды в емкости с грунтовым заглублением: 1 – металлическая емкость; 2 – теплоизолятор; 3 – грунт; 4 – вода

Геометрические размеры ёмкости: высота 250 мм, внутренний диаметр 280 мм, толщина стенки – 0,7 мм. Вода в ёмкости охлаждалась в процессе теплообмена с грунтом. На рисунке 3.23 представлен вид сверху и комплект измерительных приборов для регистрации температуры. Температурное изменение воды фиксировалось с помощью технического термометра с органической жидкостью (2) (СП-2 ТУ25-11.663-76; 0...+50), температура наружного воздуха термометром метеорологическим (3) (ТМ-1 ГОСТ 112-78; -35...+50), температура грунта мультиметром (4) (UNI-T UT33C), время электронными часами (5), толщина образовавшегося льда штангенциркулем (6) (ШЦ-1).

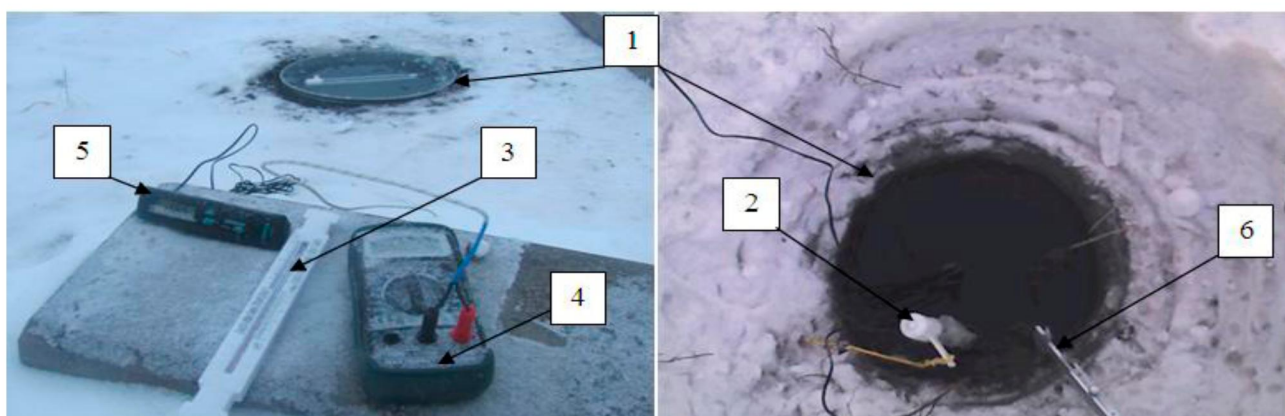


Рисунок 3.23 – Экспериментальная установка по определению параметров работы подземной емкости с водой

Необходимо добавить, что при проведении экспериментов точность измерений оценивалась величиной абсолютной и относительной ошибок установленной по методике [199,187]. Не исключалось то, что в проводимых опытах присутствуют неустраняемые случайные погрешности, вызванные несовершенством теплоизоляции, колебаниями погодных условий и пр. Несмотря на данное условие, точность полученных результатов является достаточной для определения оптимальных геометрических и энергетических параметров исследуемой технологической системы.

3.3.2 Методика и результаты эксперимента

Для исследования закономерностей теплообмена воды с грунтом через стальную стенку проводили серию опытов на протяжении 16 часов, в качестве объекта теплостока использовалась вода положительной температуры ($+40^{\circ}\text{C}$), которая охлаждалась грунтом отрицательной температуры $[-1;0]^{\circ}\text{C}$ (рис. 3.24).

Результаты экспериментальных значений полученных в процессе исследования, при пятикратном повторении опытов, представлены на рисунке 3.24.

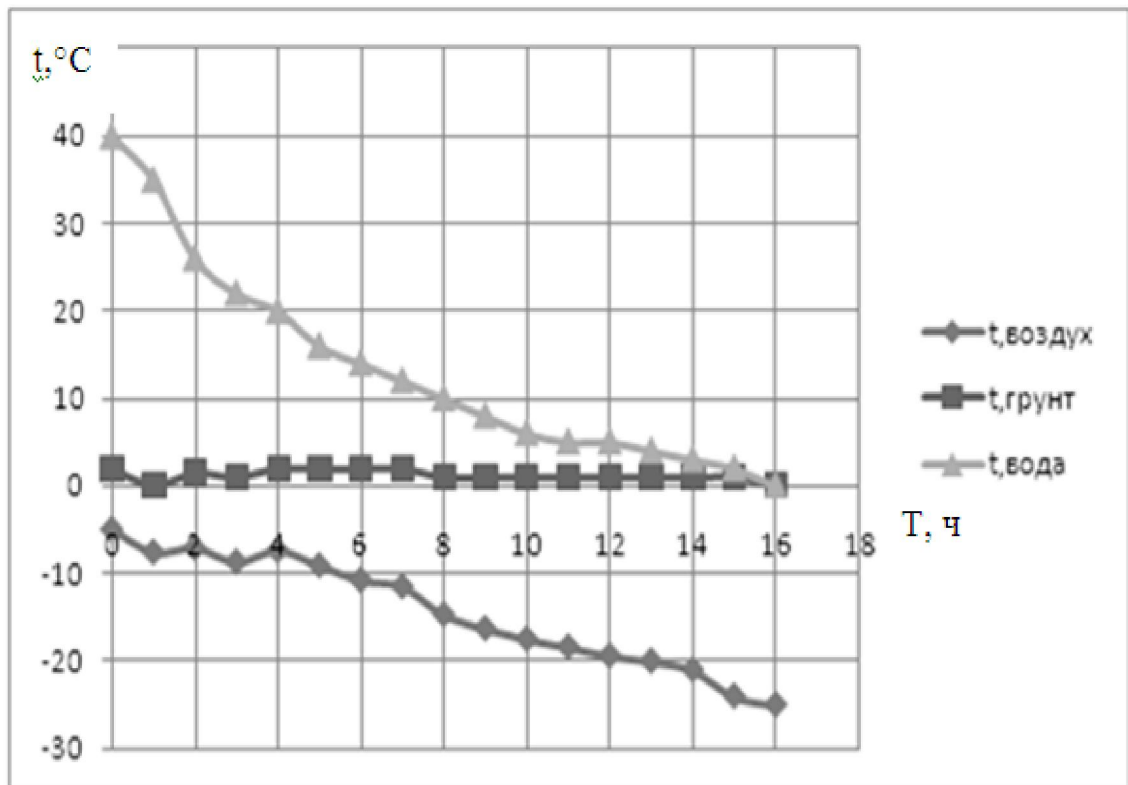


Рисунок 3.24 – Результаты экспериментальных исследований температурных характеристик при теплообмене воды и грунта

По графикам функциональных зависимостей температуры воздуха, температуры грунта и температуры воды, возможно, анализировать процесс теплообмена в стальной емкости, контактирующей с грунтом. Отчетливо

фиксируется период охлаждения воды от 7 до 0 °С равный около 7 часов при отрицательных кризисных температурах до -25°С. Логично предположить, что этот период пропорционально увеличивается с увеличением подземной ёмкости до размеров, которыми должна обладать подземная ёмкость реальной водонапорной башни.

Таким образом, доказано, что в случае, когда температура воздуха резко понижается от положительных до отрицательных значений, запас тепла в подземной ёмкости будет идти на ограничение накопления льда в баке водонапорной башни. Такие случаи возможны в основном в конце осени или в начале зимы, что подтверждает целесообразность использования такой ёмкости. Естественно, что при длительном устойчивом похолодании, когда температура грунта приобретёт нулевые значения, указанная ёмкость запас тепла постепенно потеряет и, следовательно, не будет влиять и на скорость нарастания льда. В этом случае целесообразность её наличия обосновывается лишь созданием пожарного запаса воды.

3.4 Экспериментальное исследование лопастного активатора

3.4.1 Экспериментальная установка

Вращение лопастного активатора циркуляции воды, погруженного в воду, с приводом от ветротурбины предполагает определение мощности необходимой активатору на преодоление сил гидравлического сопротивления, действующих на лопасти активатора [86,182]. С этой целью на кафедре ФГБОУ ВО ОГАУ «Электротехнологии и электрооборудование» изготовлена экспериментальная установка, схема которой представлена на рисунке 3.25.

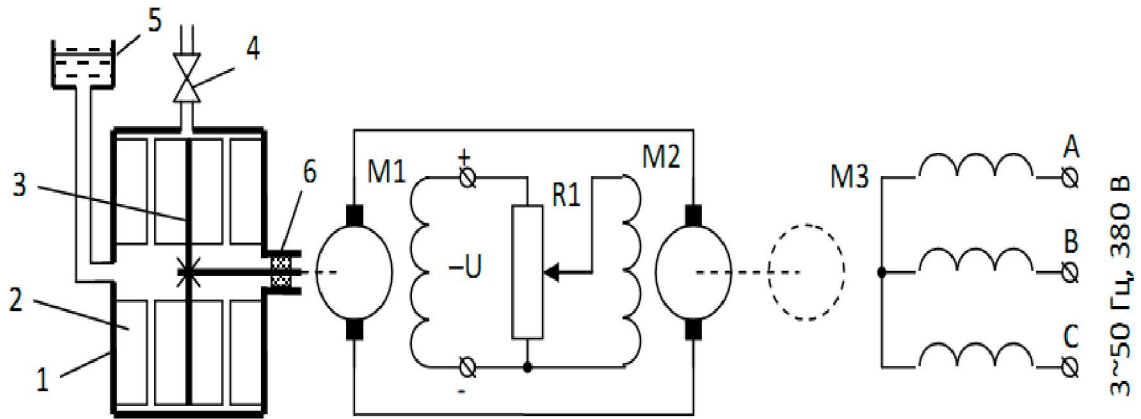


Рисунок 3.25 – Схема экспериментальной установки с опытным образцом лопастного активатора: 1- стальной бак; 2 – лопасти; 3 – активатор циркуляционных потоков; 4 – кран; 5 – расширительный бак; M1- машина постоянного тока; M2 – генератор; M3- асинхронный электродвигатель.

Основным элементом лабораторной установки (рисунки 3.26, 3.27, 3.28) является опытный образец лопастного активатора циркуляции, помещенного в цилиндрическую емкость заполненную водой [92]. Образец состоит из корпуса 1, в центре которого на валу размещён лопастной активатор 3, представляющий из себя диск, имеющий с двух сторон лопасти 2 в виде плоских прямоугольных пластин. Для расширения режимного диапазона предусмотрена возможность в процессе испытаний изменять количество лопастей. Для заполнения емкости водой разработан компенсационный бак 5 и установлен вентиль 4, служащий также для выпуска воздуха. Утечка воды в месте выхода вала предотвращается сальниковой набивкой 6. Геометрические размеры лопастного активатора циркуляции помещенного в емкость: внутренний диаметр корпуса - $D = 0,5$ м; высота цилиндра корпуса (размер в осевом направлении) варьировалась в пределах от $h = 0,04$ до $0,1$ м через $0,02$ м; число лопастей N устанавливали в каждом опыте равным 2, 4 и 8 шт [129,134].



Рисунок 3.26 – Внешний вид лабораторной установки (вид со стороны балансирующей машины)



Рисунок 3.27 – Внешний вид лабораторной установки (вид со стороны активатора, крышка закрыта)



Рисунок 3.28 – Внешний вид лабораторной установки (вид со стороны активатора, крышка открыта): 1 – корпус, 2 – лопасти, 3 – лопастной активатор, 4 – вентиль

Вращение вала лопастного активатора осуществляется машиной постоянного тока параллельного возбуждения (*М1*-балансирная машина) (рисунок 3.26). Статор машины закреплён на подшипниках и имеет противовес, что обеспечивает поворот статора на необходимый угол, тем больший, чем больше величина вращающего момента. По углу отклонения при выполненной тарировке определяется развиваемый машиной момент, равный моменту сопротивления на валу активатора для задаваемых частот вращения [129].

Регулирование частоты вращения машины постоянного тока параллельного возбуждения – *М1*, а следовательно и вала лопастного активатора осуществлялось изменением напряжения на обмотке якоря

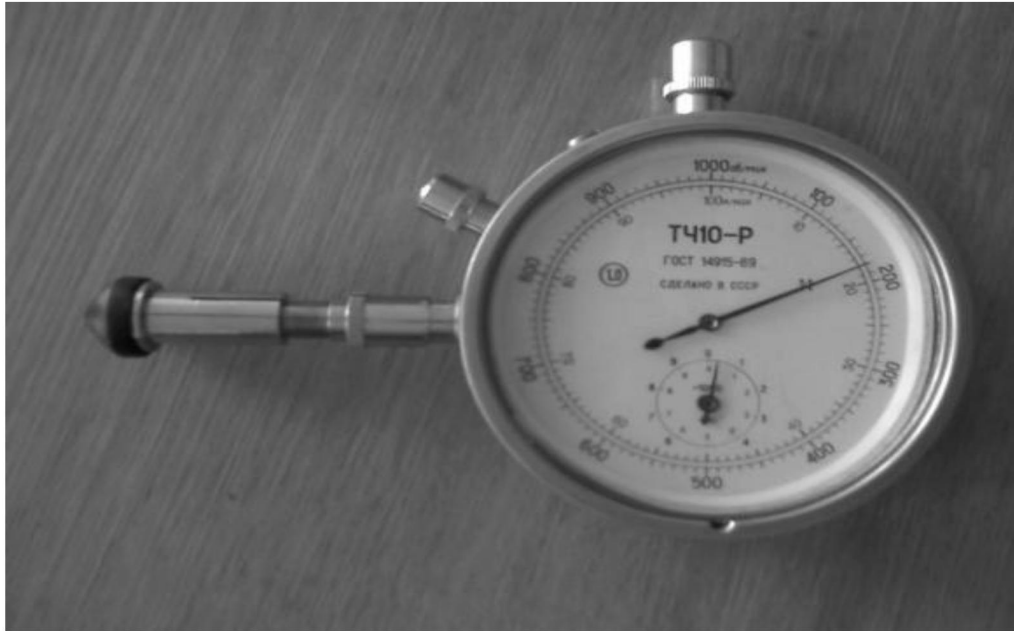
машины. Регулируемое напряжение подаётся с якоря генератора $M2$ – машины постоянного тока независимого возбуждения, приводимой во вращение асинхронным электродвигателем – $M3$.

Для проведения лабораторного эксперимента осуществлялась равномерная градуировка шкалы указателя момента с нанесением делений через каждый миллиметр (рисунок 3.29).



Рисунок 3.29 – Градуированная шкала указателя момента

Измерение частоты вращения вала активатора производилось тахометром часового типа ТЧ10 – Р (рисунок 3.30а) и контролировалось фототахометром Velleman DTO 6234 (рисунок 3.30б).



а)



б)

Рисунок 3.30 – а) тахометр часового типа ТЧ10 – Р; б) фототахометр Velleman DTO 6234

Опыты проводились при различном количестве лопастей, а также менялся объем емкости, заполненной водой.

3.4.2 Тарировка балансного механизма для измерения момента вращения

Для измерения момента на валу активатора циркуляции предложена и проведена процедура тарировки, в процессе которой измерялся радиус дуги шкалы $R_{ш}$ в миллиметрах (рисунок 3.31) [129].

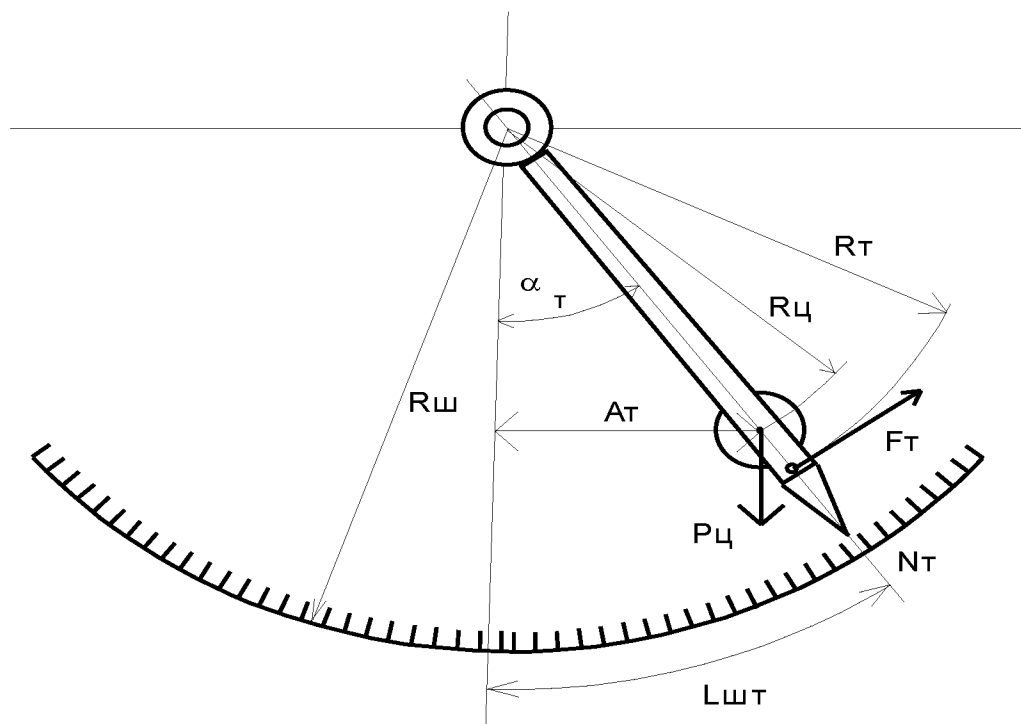


Рисунок 3.31 – Кинематическая схема тарированного балансного механизма

К плечу $R_Т$ балансного устройства, длина которого также была предварительно измерена, прикладывалась сила $F_Т$ и фиксировалось количество делений шкалы $N_Т$, на которое отклонилась стрелка указателя момента, численно равное, в данном случае, длине дуги шкалы $L_{ШТ}$ в миллиметрах, соответствующей данному отклонению.

Приложенный при тарировке момент $M_m = F_m R_m$ уравновешен противодействующим моментом, равным произведению веса балансного

устройства $P_{ц}$ на смещение A_T центра тяжести от вертикальной линии, проходящей через ось балансирующего устройства:

$$M_T = M_{пр} = P_{ц} \cdot A_T = P_{ц} \cdot R_{г} \cdot \sin \alpha_T = P_{ц} \cdot R_{г} \cdot \sin \frac{L_{шт}}{R_{ш}}. \quad (3.6)$$

Откуда при дальнейшей формализации получим:

$$P_{ц} \cdot R_{ц} = M_T / \sin(N_T / R_{ш}). \quad (3.7)$$

Следовательно, момент при произвольном отклонении стрелки опишется как:

$$M = P_{ц} \cdot R_{ц} = M_T / \sin(N_T / R_{ш}) \cdot \sin N / R_{ш}. \quad (3.8)$$

При тарировке стенда сила F_T имитировалась грузом, подвешенным через шкив. При этом были измерены и зарегистрированы следующие параметры: $R_{ш} = 135\text{мм}$; $R_T = 0,12\text{м}$; $m_T = 0,33\text{кг}$; $N_T = 190$ дел, использование которых в математических процедурах по выражению (3.6) делает возможным получение аналитической интерпретации уравнения момента с последующим составлением тарировочных таблиц, облегчающих работу при проведении экспериментов.

$$M = 15,8 \sin 180N / 135\pi. \quad (3.7)$$

3.4.3 Методика определения момента сопротивления на валу ротора активатора при взаимодействии с жидкостью

Эксперименты проводились следующим образом. Лопастной активатор экспериментальной установки с налитой в нее водой приводился во вращение по схеме управления. При этом адекватно углу отклонения балансирующей машины фиксировался момент сопротивления, а на валу

посредством тахометра – число оборотов вала активатора. Автотрансформатором регулировалась частота вращения лопастного активатора. Постоянное заполнение емкости водой обеспечивалось компенсационным баком.

Необходимо отметить, что показания температуры воды в экспериментальной емкости, измеряемые посредством жидкостного термометра в фиксированные моменты времени существенно менялись при увеличении частоты вращения диска активатора циркуляции. При измерении температуры воздуха в зонах активного контакта механизмов экспериментальной установки с окружающей средой значения фиксировались в те же моменты времени, что и при измерении температуры воды. Обязательно выполнялось условие недоступности солнечного излучения на термометр. Уровень эксплуатационной вариабельности экспериментальных частот вращения вала балансирной машины, связанной муфтой с валом активатора, на порядок превосходит регламентный режим частотного отклонения от номинальных оборотов. Несмотря на это, проблема контроля частоты вращения и регистрация динамики её изменения была решена инструментально, для чего использовался тахометр часового типа ТЧ 10-Р и фототахометр Valleman DTO 6234 (рисунок 3.32).

Для подтверждения полученной в настоящих исследованиях математической модели активатора в плане эксперимента было предусмотрено снятие механических характеристик работы активатора в различной экспериментальной комплектации (рисунок 3.28). Параметры опытных образцов при внутреннем диаметре D корпуса 0,5 метра варьировали по высоте h цилиндра корпуса (размер по вектору оси) от 0,04 до 0,1 метра через 0,02 метра, а число лопастей N в каждом опыте меняли по ряду - 2, 4 и 8 шт.

3.4.4 Результаты проведённых экспериментальных исследований

На рисунке 3.33 представлена графическая интерпретация полученных значений моментов балансирной машины, приводящей в действие активатор, рабочие органы которого преодолевали сопротивление жидкости.

В данном случае особенностью является переход от аппроксимации кривой с уравнением параболы $M=a+b\omega^2$ к аппроксимации прямыми. С этой целью экспериментальные кривые построим в координатах $M-\omega^2$. Это делает возможным нахождения коэффициентов уравнения: a – определяющего момент при $\omega=0$ в точке пересечения прямой с осью ординат и $b = \Delta M / \Delta \omega^2$ (рисунок 3.34).

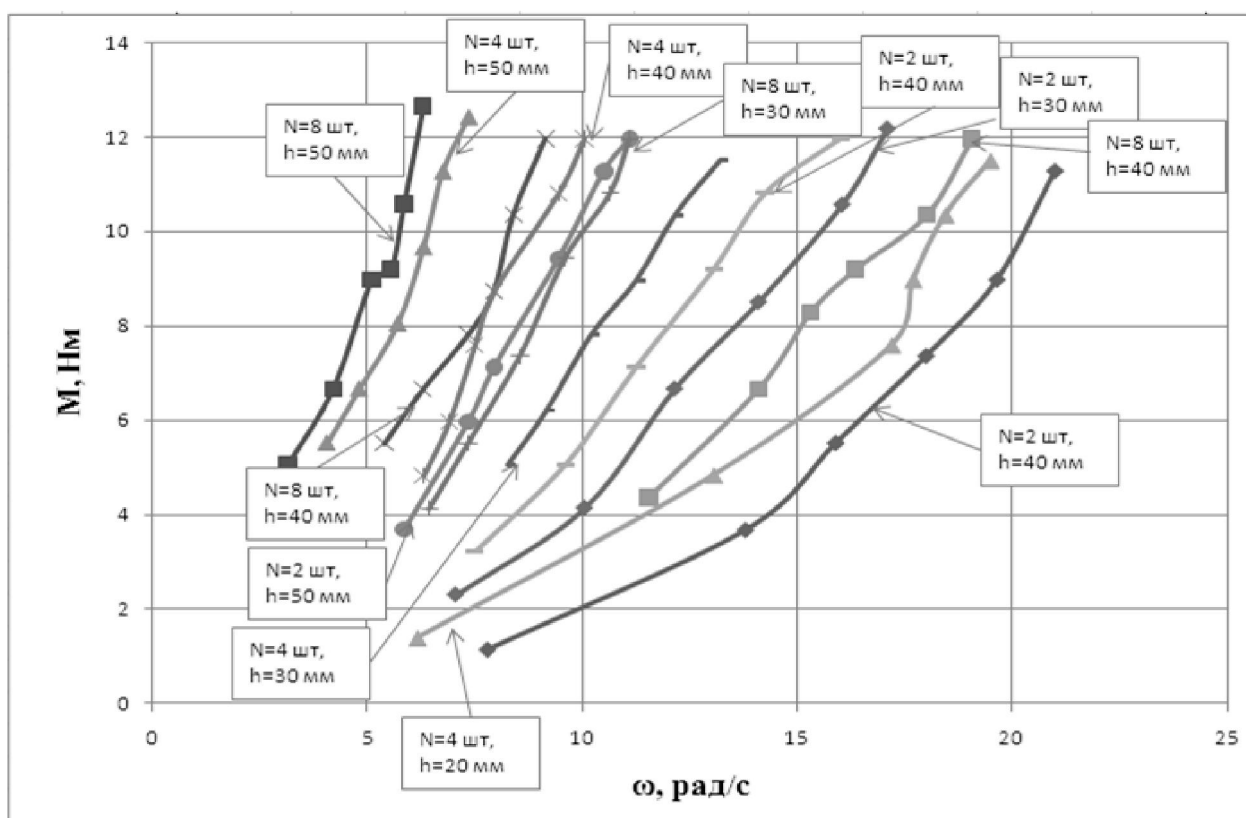


Рисунок 3.33 – Механические характеристики $M=f(\omega)$, снятые экспериментально

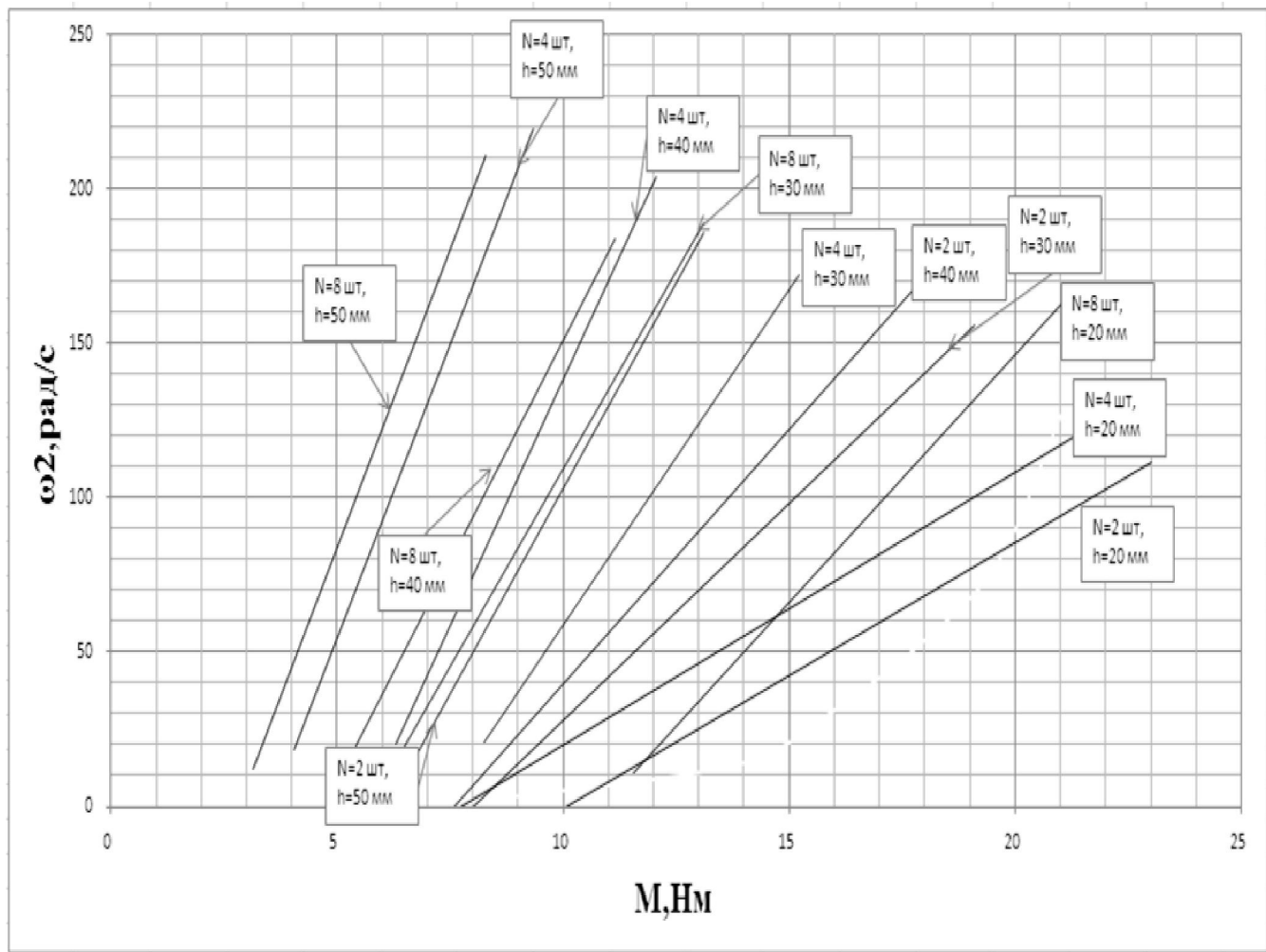


Рисунок 3.34 – График экспериментальной зависимости $M=f(\omega^2)$

На представленных графиках (рисунок 3.33 и 3.34) ясно прослеживается снижение момента и возрастание частоты вращения при уменьшении высоты цилиндра корпуса активатора и числа его лопастей.

Полученные кривые механических характеристик активатора позволяют согласовать эти характеристики с механическими характеристиками ветродвигателя, которые соответствуют его быстроходности, при которой он имеет максимальный коэффициент использования энергии ветра. Согласование возможно путём варьирования диаметром ветроколеса, его синхронной быстроходностью или путём установки между валами активатора и ветроколеса редуктора и варьированием его передаточного отношения.

3.5 Методика производственных исследований водонапорной башни с активатором циркуляционных потоков

Для экспериментального исследования предложенных технических решений на реальном производстве (СПК колхоз им. Кирова Октябрьского района и КФХ «Демченко Александр Иванович» с. Дмитриевка Александровского района) водонапорная башня ВБР-15У-10 была оснащена ветроустановкой («Аэргон»), осуществляющей вращение расположенного в баке активатора. Башня с установленной на ней ветроустановкой изображена на рисунке 3.35.

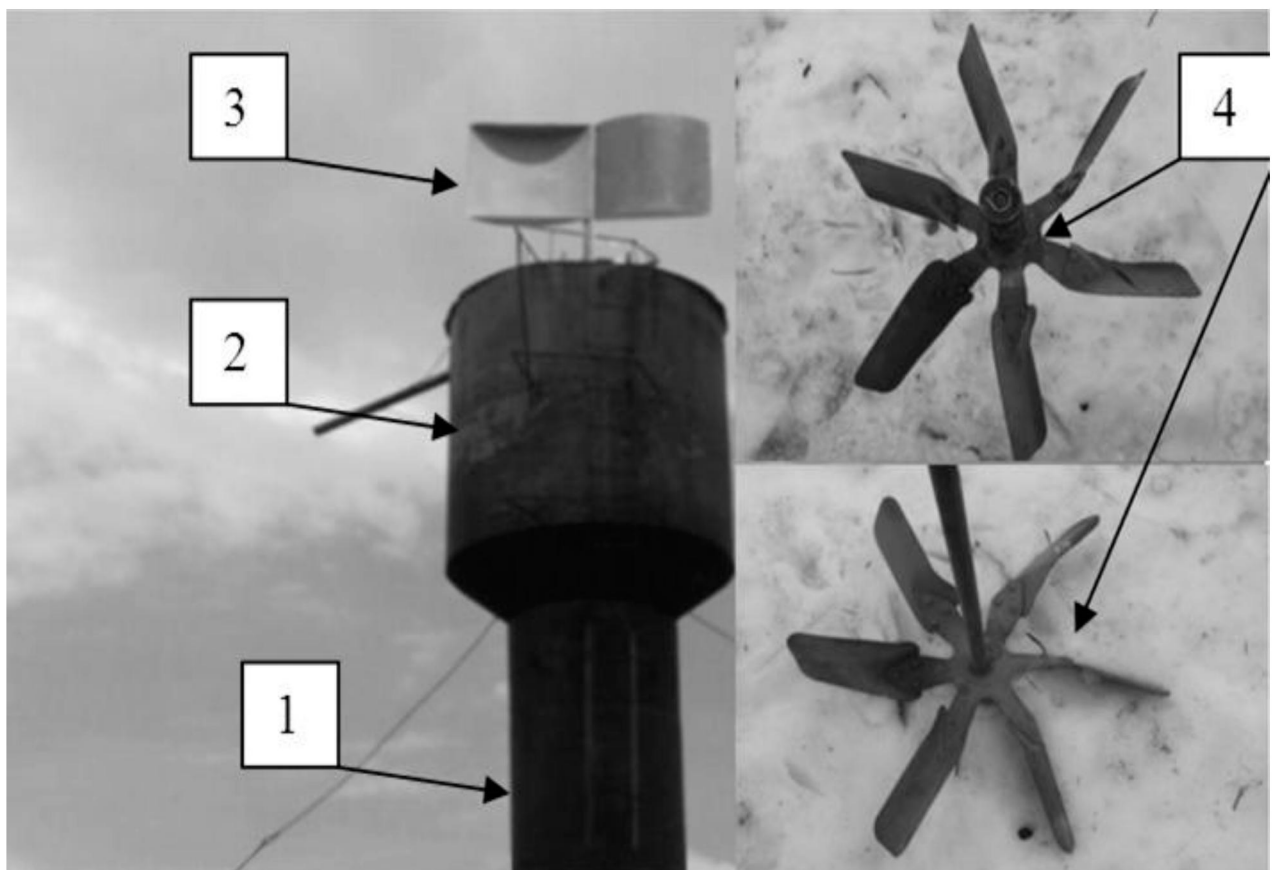


Рисунок 3.35 – Водонапорная башня с ветроустановкой:

1- стойка; 2 – бак; 3 –ветроустановка с вертикальной осью вращения;
4 –активатор циркуляционных потоков

При испытаниях в производственных условиях изучено взаимодействие рабочих лопастей с гидросредой, что позволило сделать заключение о возможности активации тепловой энергии и минимизации площади действия осевых толкающих сил, обеспечивающих динамический упор лопастной конструкции на рабочую среду, для числа лопастей не более восьми, даже в интервале малых скоростей ветра [1;5] м/с. Увеличение числа лопастей более восьми не приводит к изменению момента сопротивления ротора активатора, и, соответственно, нет необходимости в технической реализации многолопастной конструкции (Приложение 20,21).

Установлено что в процессе эксплуатации данной водонапорной ёмкости с учетом кризисного периода отрицательных температур для ее функциональной устойчивости требуется дополнительно 10 кВт тепловой энергии.

В то же время увеличение числа лопастей больше восьми не приводит ни к существенному увеличению момента, ни к существенному снижению частоты вращения ротора активатора. Это особенно заметно на графиках $M=f(N)$ при $\omega = Const$ и $\omega = f(N)$ при $M = Const$ (рисунок 3.36).

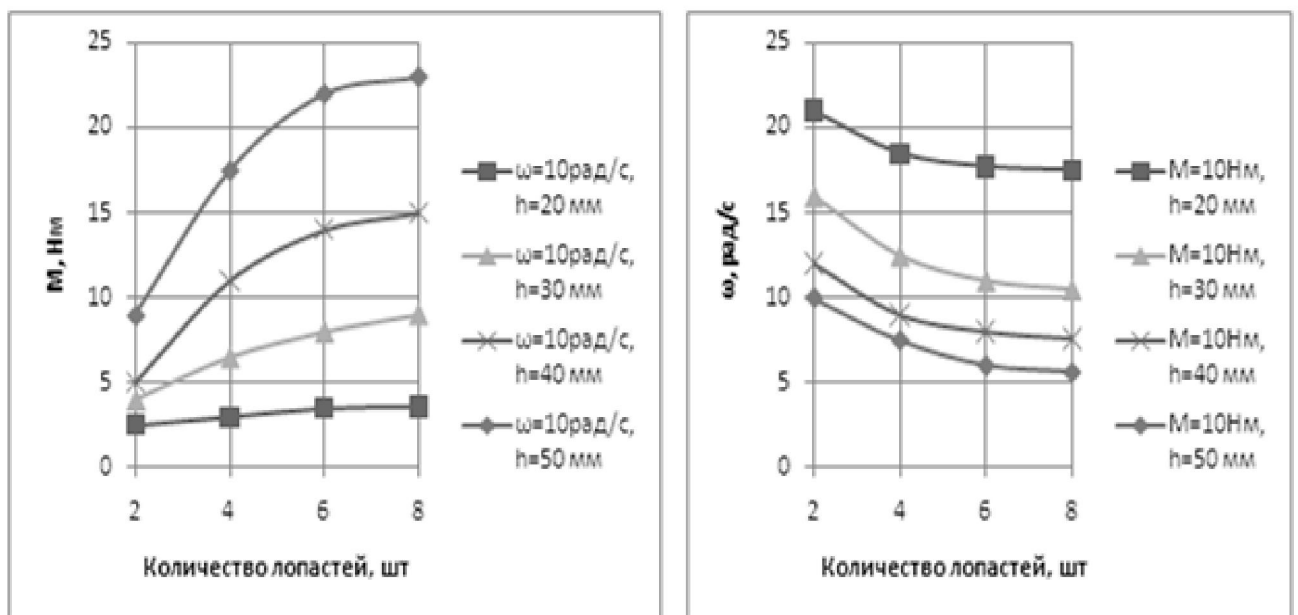


Рисунок 3.36 - Результаты испытаний активатора циркуляционных потоков (h -высота лопастей)

Таким образом, при производственном конструировании и изготовлении для практических целей предлагаемых активаторов рекомендуется ограничиться числом лопастей на уровне 6...8 единиц.

Был также проведён опыт по определению времени намерзания слоя льда в стойке водонапорной башни от $r_{\text{л}} = 0,44$ м до $r_{\text{л}} = 0,27$ м при следующих погодных и эксплуатационных условиях: средняя температура в период наблюдения -20 °С; среднесуточный расход воды из бака водонапорной башни $Q = 0.5$ м³/ч и средней скорости ветра $V = 4$ м/с. Время намерзания указанного слоя льда фактически составило 60 часов. Это же время, рассчитанное по алгоритму 2.11, составило 64,8 часа. Расхождение результатов составило 7,7%, что подтвердило адекватность математической модели процесса обледенения водонапорной башни типа «бак-стойка» (башни Рожновского).

Выводы по главе

1. Доказано, что при прочих равных условиях приток воды в бак водонапорной башни, необходимый для поддержания установившегося режима, увеличивается с увеличением радиуса внутренней поверхности льда и уменьшением температуры окружающей среды.
2. Установлено, что наиболее интенсивное снижение необходимого расхода воды для поддержания установившегося режима обледенения наблюдается уже при слое льда, составляющем около 60% радиуса бака башни.
3. При одной и той же степени обледенения $r_{\text{лгу}}/r_1$ в пределе от 0 до 0,6 для обеспечения стабильного состояния ледяной массы технологический расход воды (Q) должен оставаться постоянным не зависимо от диаметра бака, но в случае снижения степени обледенения до значений $[0,6;1]$ для поддержания установившегося режима требуется приток воды пропорциональный диаметру бака.
4. В результате реализации модельного эксперимента установлены функции нарастания льда для башен ВБР-15-У-10 в условиях температурного режима $[-40;-10]^{\circ}\text{C}$, скоростного ветрового режима $[0;10]$ м/с и технологического расхода воды, подтверждающие активный период функционирования системы водоснабжения при критически низких температурах в проектном интервале от 3 до 4 суток.
5. По кривым изменения радиуса обледенения, построенным для водонапорной башни типа ВБР-15-У-10, выявлено, что радиус обледенения при прочих равных условиях уменьшается с понижением среднесуточной температуры окружающей среды, с понижением среднесуточного поступления воды, с увеличением скорости ветра. Причём установившийся радиус обледенения по отношению к его максимально возможному значению в баке значимо больше, чем в стойке.

6. Установлено, что подвод дополнительной мощности от альтернативных источников преобразованной в тепловую энергию практически целесообразен в диапазоне относительного радиуса обледенения $[0,1;0,6]$, в котором затраты мощности на поддержание стабильного объема ледяной массы не находятся в зависимости от изменения диаметра бака.

7. В результате анализа энергетических и силовых характеристик определяющих интервал мощности для подводимой тепловой энергии доказана возможность выбора конструкционных параметров активатора циркуляционных потоков для обеспечения агрегатирования ветроустановки с водонапорной башней ВБР-15-У-10.

4 ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛАГАЕМОГО СПОСОБА

В случае не принятия мер по предотвращению обледенения металлических водонапорных башен существует вероятность выхода из строя всей системы водоснабжения, вплоть до полного разрушения водонапорной емкости или ее крупной аварии. Сложность, а иногда и невозможность последующей эксплуатации конструкции, а также затраты на проведение ремонтных работ приводят к необходимости установки новой водонапорной башни.

Поскольку экономическая эффективность инновационного технического решения определяется отношением затрат и результатов, связанных с его реализацией, авторы учитывали дополнительные капитальные вложения на модернизацию, включающие как стоимость основного комплектующего оборудования с учетом транспортных расходов, так и расходы на проектирование и монтаж нового оборудования [208]:

$$\Delta K = C_{об} + C_{зн}^{осн}, \quad (4.1)$$

где $C_{об}$ – стоимость устанавливаемого оборудования с учетом транспортных расходов, руб.;

$C_{зн}^{осн}$ – основная заработная плата работников, участвующих в модернизации, руб.

В таблице 4.1 представлены показатели затрат для проектного варианта водонапорной башни.

Таблица 4.1 – Комплексные затраты на оборудование для модернизации водонапорной башни

Показатель	Сумма, руб.
Ветроагрегат, руб.	49700
Активатор, руб.	32000
Вертикальный вал с подшипниковыми щитами, руб.	18300
Редуктор, руб.	15807
Подземная емкость (РГС-75), руб.	180000

На основании того, что стоимость устанавливаемого оборудования:

$$C_{об} = C_{уст} \cdot \left(1 + \frac{K_{мп}}{100} \right), \quad (4.2)$$

где $C_{уст}$ – цена устанавливаемого оборудования, руб;

$K_{мп}$ – коэффициент транспортно-заготовительных расходов, ($K_{мп} = 10\%$), а основная заработная плата работников:

$$C_{зн}^{осн} = \sum_{i=1}^n (t \cdot ЧТС) \cdot \left(1 + \frac{K_{мп}}{100} \right) \cdot \left(1 + \frac{K_p}{100} \right), \quad (4.3)$$

где n – число категорий работников;

t – трудоемкость работ для каждой категории работников, час;

ЧТС – часовая тарифная ставка работника, руб/час;

$K_{пр}$ – коэффициент премии, 50%;

K_p – районный коэффициент, 15%.

За основу был принят фонд заработной платы производственных рабочих (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Фонд заработной платы производственных рабочих

Профессия	Количество о рабочих часов	Часовая тарифная ставка, руб/ч	Прямой фонд зарплаты, руб.
Монтажник	24	85,22	2045,28
Сварщик	24	79,54	1908,96
Слесарь- сборщик	24	68,18	1636,32
Тракторист	16	1500 (с учетом аренды экскаватора)	24000
Водитель	16	1200 (с учетом аренды автомобиля)	19200

При расчете учитывалась тарифная ставка работников, определяемая как:

$$ЧТС = \frac{O_m}{\Phi_p}, \quad (4.4)$$

где O_m – месячный оклад;

Φ_p – количество рабочих часов в месяц (принималось равным 167ч.).

Показатели по дополнительной заработной плате использовалась апробированная методика формализуемая как:

$$C_{\text{доп}}^{\text{доп}} = C_{\text{осн}}^{\text{осн}} \cdot \frac{K_{\text{доп}}}{100}, \text{ руб.}, \quad (4.5)$$

где $K_{\text{доп}}$ – процент дополнительной заработной платы, 10%.

Результаты расчета капитальных вложений на модернизацию сведены в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Капитальные вложения

Статьи затрат	Сумма, руб.
Стоимость нового оборудования	295807
Основная заработная плата	48790,56
Дополнительная заработная плата	4879,056
Итоговые капитальные вложения на модернизацию	349476,61

Как известно, ежегодные текущие затраты на эксплуатацию складываются из нескольких составляющих: годовые амортизационные отчисления, годовые затраты на обслуживание системы и ремонт.

Годовая сумма амортизационных отчислений:

$$H_{ам} = \Delta K \cdot \frac{H_{ам}}{100}, \quad (4.6)$$

где $H_{ам}$ – годовая норма амортизации инновационного варианта 10% (срок службы 10лет).

Затраты на ремонт и обслуживание, включающие в себя затраты на заработную плату ремонтного и обслуживающего персонала, а так же затраты на комплектующие изделия, запасные части и материалы, используемые при ремонтах и обслуживании водонапорных башен:

$$H_p = H_{зп}^p + H_{зп}, \quad (4.7)$$

где $H_{зп}^p$ – затраты на заработную плату ремонтного и обслуживающего персонала;

$H_{зп}$ – затраты на комплектующие изделия, запасные части и материалы.

$$H_{зп}^{осн} = \sum_{i=1}^n (t_i \cdot ЧТС_i) \cdot \left(1 + \frac{K_{пр}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{K_p}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{K_{доп}}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{K_{сн}}{100}\right), руб., \quad (4.8)$$

где n – число категорий персонала;

t_i – трудоемкость обслуживания и ремонта для i – той категории персонала, ч/год;

$ЧТС_i$ – часовая тарифная ставка для i – той категории персонала, руб/ч;

$K_{пр}$, K_p , $K_{доп}$, $K_{сн}$ - соответственно коэффициенты: премии, районный, дополнительной заработной платы и отчислений на социальные нужды.

Результаты расчета трудоемкости обслуживания и ремонта оборудования сведены в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Трудоемкость обслуживания и ремонта оборудования

Категория персонала	ЧТС, руб/ч	Трудоемкость, ч/год	
		Серийный вариант	Экспериментальный вариант
Монтажник	85,22	24	-
Водитель автокрана	1000 (с учетом аренды автокрана)	8	-
Слесарь	56,81	-	8

Годовые издержки по эксплуатации модернизированной и серийной водонапорной башни рассчитывали соответственно [209]:

$$И = И_{ам} + И_p . \quad (4.9)$$

Общие затраты на обслуживание и ремонт по сравниваемым вариантам представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Затраты на обслуживание и ремонт

Показатель	Сумма, руб	
	Серийный вариант	Экспериментальный вариант
Амортизационные отчисления	87500	34459,756
Затраты на зарплату обслуживающего персонала	10045,28	454,48
Годовые эксплуатационные издержки	97545,28	34914,236

Экономия эксплуатационных издержек [209]:

$$Э_k = И_{баз} - И_{нов} , \quad (4.10)$$

где $И_{баз}$ - эксплуатационные издержки по базовому варианту;

$И_{нов}$ - эксплуатационные издержки по новому варианту.

Годовой экономический эффект от внедрения инновационного проекта водонапорной башни (таблица 4.6):

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \mathcal{Z}_{\text{баз}} - \mathcal{Z}_{\text{нов}}, \quad (4.11)$$

где $\mathcal{Z}_{\text{баз}}$ – годовые затраты по базовому варианту;

$\mathcal{Z}_{\text{нов}}$ - годовые затраты по новому варианту.

Таблица 4.6 – Экономические показатели модернизации

№ п/п	Показатель	Ед. изм.	Варианты	
			Серийный вариант	Экспериментальный вариант
1	Дополнительные капитальные вложения	руб.	-	349476,61
2	Годовые эксплуатационные издержки	руб.	97545,28	34914,236
3	Прибыль	руб.	-	350523,39
4	Срок окупаемости	лет	-	3,94

Увеличение времени работы водонапорной башни (ВБР-15-У-10), в критических условиях до момента перемерзания в (1,63;1,99) раза при технико-экономическом анализе показало следующее. Прибыль 350523,39 руб., снижение годовых эксплуатационных издержек на 62631,044 руб. и амортизационных отчислений на 53040,244 руб. Срок окупаемости предлагаемого инновационного решения 3,94 года, с учетом этого конструкция может быть рекомендована для внедрения в систему водоснабжения животноводческих ферм и комплексов.

Выводы по главе

1. В результате активации циркуляционных потоков в башне ВБР-15-У-10 с подземным резервуаром за счет подвода дополнительной тепловой энергии от ветроколеса увеличение периода функционирования при критически низких температурах составило 63%, что обеспечило бесперебойный режим водопотребления стада из 24 коров при температурах ниже -25°C . Годовой экономический эффект от модернизации системы водоснабжения эксплуатируемой в периоды экстремальных температур свыше трех суток составил 350523,39 руб. при сроке окупаемости 3,94 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. В результате проведенного литературного обзора и всестороннего анализа существа проблемы установлено, что наиболее приемлемым способом уменьшающим скорость и степень обледенения водонапорных башен является применение технических средств, способствующих более полному использованию тепла приточной воды за счёт интенсификации циркуляционных потоков воды, исключая застойные явления, а также привлечения тепла дополнительных источников энергии. В этом ключе разработана водонапорная башня с активатором циркуляции воды с приводом от ветроагрегата с подземным резервуаром, обеспечивающим динамическую устойчивость башни к накоплению в ней льда в переходный осенне-зимний период года (патент РФ на полезную модель №162119).

2. В результате математического моделирования установлены конструкционно-режимные характеристики водонапорных башен типа «монобак» и «бак-стойка», обеспечивающие 50%-ный эффект повышения устойчивости к обледенению монобаковой конструкции. На базе этих моделей предложены алгоритмы определения параметров обледенения в статическом и динамическом режимах. Прогнозная достоверность графоаналитического решения дифференциальных уравнений, моделирующих процессы формирования ледяной массы, для обоих типов башни находится на уровне свыше 95%.

3. Установлено, что подвод дополнительной мощности от альтернативных источников, преобразованной в тепловую энергию, практически целесообразен в диапазоне относительного радиуса обледенения от 0,1 до 0,6, в котором затраты мощности на поддержание стабильного объема ледяной массы не находятся в зависимости от изменения диаметра бака. Для водонапорной башни ВБР-15-У-10 необходимая дополнительная мощность при самых неблагоприятных условиях охлаждения башни составляет 14 кВт.

4. Для водонапорной башни ВБР-15-У-10 экспериментально определено, что время намерзания слоя льда в стойке водонапорной башни от $r_{\text{л}} = 0,44$ м до $r_{\text{л}} = 0,27$ м при температуре воздуха в период наблюдения -20 °С; среднесуточном расходе воды из бака водонапорной башни $Q = 0,5$ м³/ч и средней скорости ветра $V = 4$ м/с составило 60 часов. Это же время, рассчитанное теоретически составило 64,8 часа. Расхождение результатов составило 7,7%.

5. В результате анализа энергетических и силовых характеристик, определяющих интервал мощности для подводимой тепловой энергии, доказана возможность выбора конструкционных параметров активатора циркуляционных потоков для обеспечения агрегатирования ветроустановки с водонапорной башней ВБР-15-У-10, эксплуатируемой в режиме водопотребления животноводческого комплекса в периоды критически низких температур.

6. В результате активации циркуляционных потоков в башне ВБР-15-У-10 с подземным резервуаром за счет подвода дополнительной тепловой энергии от ветроколеса увеличение периода функционирования при критически низких температурах составило 63%, что обеспечило бесперебойный режим водопотребления стада из 24 коров при температурах ниже -25 °С. Годовой экономический эффект от модернизации системы водоснабжения, эксплуатируемой в периоды экстремальных температур свыше трех суток, составил 350523,39 руб. при сроке окупаемости 3,94 года.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов, Р.Р. Энергоснабжение сельскохозяйственных потребителей с использованием возобновляемых источников : В условиях Республики Башкортостан : дисс. ... канд.техн.наук : 05.20.02 / Абдрахманов Ренат Рафилович. – Уфа, 2005. – 203 с. : ил.
2. Авдюшенко, А.Ю. Метод расчёта осевых и радиальных нагрузок на рабочее колесо гидротурбины в нестационарном потоке / А.Ю. Авдюшенко, С.Г. Чёрный, Д.В. Чирков // Вычислительные технологии. – 2013. Т.18. – № 4. – С. 3-25.
3. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский . – 2-е изд. перераб. и доп. – Москва : Наука, 1976. – 280 с. : табл.
4. Александров, Л.Н. Кинетика кристаллизации и перекристаллизации полупроводниковых пленок / Л.Н. Александров. – Новосибирск : Наука, 1985. – 224 с.
5. Алексеев, Г.Н. Общая теплотехника: учеб. пособие / Г.Н. Алексеев. – Москва : Высш. школа, 1980. – 552 с. : ил.
6. Алифанов, О.М. Обратные задачи теплообмена / О.М, Алифанов. – Москва : Машиностроение, 1988. – 279 с.
7. Алямовский, А.А. SolidWorks/COSMOSWorks. Инженерный анализ методом конечных элементов / А.А. Алямовский. – Москва : ДМК Пресс, 2004. – 432 с. : ил.
8. Амерханов, Р.А. Проектирование систем энергообеспечения / Р.А. Амерханов, А.В. Богдан, С.В. Вербицкая, К.А. Гарькавый. – Москва: Энергоатомиздат, 2010. – 548 с.
9. Амерханов, Р.А. Система геотермального теплоснабжения / Р.А. Амерханов, А.В. Богдан, А.С. Кириченко, А.А. Куличкина, М.О. Чечерин, А.А. Скороход // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. - №53. – С. 203 – 209.

10. Андрианов, Е.А. Повышение молочной продуктивности коров в связи с совершенствованием технологий и технических средств поения животных: Сборник материалов научно-технической конференции / Е.А. Андрианов, А.М. Андрианов, А.А. Андрианов. – 2010. – С. 100-102.
11. Анненко, Д.М. Исследование процессов формирования зернового состава цемента в шаровых мельницах замкнутого цикла : дисс. ... канд.техн.наук : 05.02.13 / Анненко Дмитрий Михайлович. – Белгород, 2009. – 193 с. : ил.
12. Асманкин, Е.М. Использование низкопотенциальной энергии для предотвращения льдообразования в металлических водонапорных башнях / Е.М. Асманкин, М.Б. Фомин, А.Б. Рязанов. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – №6. – С. 7-28.
13. Асманкин, Е.М. К вопросу развития энергосберегающих технологий в АПК / Е.М. Асманкин, С.В. Юмакаева, М.Б. Фомин, А.Ж. Балмугамбетова // Известия ОГАУ. – №2. – С. 77-79.
14. Асманкин, Е.М. Математическая модель, функционально–параметрического состояния водонапорной башни для условий эксплуатации при отрицательных температурах окружающего воздуха [Текст] / Е.М. Асманкин, Ю.А. Ушаков, И.А. Рахимжанова, М.Б. Фомин // Известия ОГАУ. – 2016. – №3. – С. 72-74.
15. Асманкин, Е.М. Обоснование достоверности модели функционально–параметрического состояния водонапорной башни системы водоснабжения объектов сельскохозяйственного назначения [Текст] / Е.М. Асманкин, Ю.А. Ушаков, М.Б. Фомин, Н.К. Комарова, А.А. Аверкиев // Известия ОГАУ. – 2016. – №5. – С. 48-50.
16. Асманкин, Е.М. Состояние и развитие альтернативных источников энергии для энергообеспечения автономных объектов с.х. производства / Е.М. Асманкин, М.Б. Фомин, И.А. Чуйков // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК. – 2013. – С. 20-24.

17. Асманкин, Е.М. Способ повышения устойчивости водонапорной емкости к обледенению [Текст] / Е.М. Асманкин, И.А. Рахимжанова, М.Б. Фомин, И.Н. Дементьева // Известия ОГАУ. – 2016. – №2. – С. 48-49.
18. А. с. 109932 СССР, МПК6 E03B7/12, E04H12/30, E03B11/12. Устройство для устранения льдообразования в баке напорной башни с заполненной водой колонной / Л.В. Филатов. – № 497734 ; заявл. 22.03.56 ; опубл. 01.01.57. – 4 с. : ил.
19. А. с. 1502783 СССР, МКИЗ E 04 H 12/30. Водонапорная башня / А.В. Куралесин, В.Е. Тройкин, В.Н. Уметский, Ю.А.Павло. – № 4368621/31-33 ; заявл. 25.01.88 ; опубл. 23.08.89, Бюл. № 31. – 2 с. : ил.
20. А. с. 868031 СССР, МКИЗ E 04 H 12/30. Водонапорная башня / М.А. Спивак. – № 2848517/29-33 ; заявл. 07.12.79 ; опубл. 30.09.81, Бюл. № 36. – 2 с. : ил.
21. Ахметжанов, Р.А. Повышение эффективности использования солнечной и ветровой энергии для теплоснабжения сельскохозяйственных потребителей : дис. ... канд.техн.наук : 05.20.02 / Ахметжанов Радмилль Азатович. – Челябинск, 2005. – 186 с.
22. Бахвалов, Н.С. Численные методы: Анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения / Н.С. Бахвалов. – Москва : Наука, 1975. – 631 с.
23. Белецкий, Б.Ф. Конструкции водопроводно-канализационных сооружений: справ. пособие / Б.Ф. Белецкий, Н.И. Зотов, Л.В. Ярославский. Под общ ред. Б.Ф. Белецкого. – Москва : Стройиздат, 1949. – 448 с. : ил.
24. Белов, Г.В. Термодинамическое моделирование: методы, алгоритмы, программы / Г.В. Белов. – Москва : Научный Мир, 2002. – 184 с.
25. Белозеров, Г.А. Научно-практические аспекты развития холодильно-технологической цепи обработки, хранения и транспортирования пищевых продуктов животного происхождения : дисс. ... докт.техн.наук : 05.18.04 / Белозеров Георгий Автономович. – Москва, 2012. – 366 с. : ил.
26. Бенерджи, П. Метод граничных элементов в прикладных науках / П. Бенерджи, Р. Баттерфилд; пер. с англ. – Москва : Мир, 1984. – 494 с. : ил.

27. Берковский, Б.М. Вычислительный эксперимент в конвекции / Б.М. Берковский, В.К. Полевилов. – Минск : Университетское, 1988. – 167 с.
28. Бибарсов, В.Ю. Усовершенствование теплоснабжения объектов сельскохозяйственного производства на базе тепловетроэнергетической установки / В.Ю. Бибарсов, М.Б. Фомин // Состояние, перспективы экономико-технологического развития и экологически безопасного производства в АПК. – 2010. – №1. – С. 534-540.
29. Богдановский, В.А. Новые фермеры: инвестиции и демография / В.А. Богдановский // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2014. – № 1(18). – С. 53-57.
30. Боровский, В.Р. Теплообмен цилиндрических тел малых радиусов и их систем / В.Р. Боровский, В.А. Шелиманов. Отв. ред. Е.П. Дыбан. – Киев : Наукова думка, 1985. – 205 с.
31. Борьба с обледенением в технике [Текст] : Реферативный обзор отечеств. и зарубежной литературы / сост. Э.М. Воронкова. – Ленинград : М-во энергетики и электрификации СССР. Центр. науч.-техн. информации по энергетике и электрификации – Информэнерго. Всесоюз. науч.-исслед. ин-т гидротехники им. Б.Е. Веденеева, 1971. – 158 с.
32. Брянцева, Е.В. Исследование геотермальной системы теплоснабжения / Е.В. Брянцева, Р.А. Амерханов // Вестник ВИЭСХ. – 2016. – № 2 (23). – С. 56 – 62.
33. Буханченко, С.Е. Автоматизированный комплекс для триботехнических испытаний конструкционных материалов и смазочных сред в статическом и динамическом режимах : автореф. дис. ... канд.техн.наук : 01.02.06 / Буханченко Сергей Евгеньевич. – Томск, 2005. – 20 с.
34. Быков, Ю.А. Расчет течения в проточной части высоконапорной гидротурбины с заторможенным рабочим колесом радиальноосевого типа / Ю.А. Быков, Г.В. Орехов, П.С. Чуринов // Интернет-журнал Науковедение. – 2014. – № 2(21). – С. 98.

35. Васильев, Г.П. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России / Г.П. Васильев // АВОК. – 2007. – №5. – С. 58-74.

36. Васильев, Г.П. Геотермальные теплонасосные системы теплоснабжения и эффективность их применения в климатических условиях России / Г.П. Васильев // Малая энергетика. – Москва, 2008. – №3. – С. 79-87.

37. Вессарт, В.В. Разработка и исследование структур и алгоритмов управления систем автономного энергоснабжения с ветроэнергетическими установками: дисс. ... канд.техн.наук : 05.14.02 / Вессарт Василий Владимирович. – Санкт-Петербург, 2003. – 176 с.

38. Ветроустановка для нагрева воды: пат. 2431762 Российская Федерация : МПК F03D 9/00 / В.Г. Петько, М.Б. Фомин, Г.Р. Бакирова, П.Н. Слободсков. – № 2010105887/06 ; заявл. 18.02.10 ; опубл. 20.10.11.

39. Ветроэнергетическая установка: пат. 2421628 Российская Федерация : МПК F03D 9/00 / В.Г. Петько, М.Б. Фомин, Г.Р. Бакирова. – № 2009136415/06 ; заявл. 01.10.09 ; опубл. 20.06.11.

40. Ветроэнергетический агрегат: пат. 2415296 Российская Федерация : МПК F03D1/00 / В.Г. Петько, М.Б. Фомин. – № 2009120779/06 ; заявл. 01.06.09 ; опубл. 27.03.11.

41. Водонапорная башня : пат. 2379452 Российская Федерация : МПК E04H 12/30 / В.Г. Петько, А.Б. Рязанов. – №2008117766/03 ; заявл. 04.05.08 ; опубл. 20.01.10. Бюл. № 2.

42. Водонапорная башня : пат. 2446262 Российская Федерация : МПК E04H 12/30 / В.Г. Петько, А.Б. Рязанов. – № 2010111539/03 ; заявл. 25.03.10 ; опубл. 27.03.12. Бюл. №9

43. Водонапорная башня: пат. 162119 Российская Федерация : МПК E03C 1/00 / М.Б. Фомин. – №2015151509/13; заявл. 01.12.15 ; опубл. 27.05.2016 Бюл. №15

44. Водоподъемные установки для местного водоснабжения: справочное пособие / науч. ред. В.А. Дубровский. – Москва : госстройиздат, 1961. – 139 с. : ил.

45. Водоснабжение ферм и пастбищ [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.allrefs.net.ru> (дата обращения: 01.09.2014).
46. Войтех, А.А. Асинхронные двигатели общепромышленной серии при частотном регулировании скорости вращения / А.А. Войтех, В.П. Оноприч, Л.В. Оноприч // Техническая электродинамика. – 2004. – №4. – С.41-45.
47. Волков, А.В. К вопросу о снижении льдообразования на элементах башенных градирен / А.В. Волков, А.А. Патакин, В.И. Лисица, А.В. Наумов // Естественные и технические науки. – 2013. – № 2(64). – С. 350-357.
48. Волосевич, П.П. Автомодельные решения задач газовой динамики и теплопереноса / П.П. Волосевич, Е.И. Леванов. – Москва : Изд-во МФТИ, 1997. – 240 с.
49. Гавриленко, А.Б. Гидравлические тормоза / А.Б. Гавриленко, В.А. Минин, Л.С. Оловников. – Москва : Гостехиздат, 1961. – 244 с.
50. Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер; пер. с англ. – Москва : Мир, 1984. – 428 с. : ил.
51. Гидравлика, водоснабжение и канализация / В.И. Калицун, В.С. Кедров, Ю.М. Ласков, П.В. Сафронов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Москва : Сторойиздат, 1980. – 359 с. : ил.
52. Глушков, А. А. Транспортировка высоковязкой нефти по магистральному нефтепроводу с использованием тепловых насосов : дисс. ... канд.техн.наук : 25.00.19 / Глушков Алексей Анатольевич. – Уфа, 2009. – 137 с. : ил.
53. Гончар, Н.С. Конденсация и кристаллизация: Математические аспекты теории / Н.С. Гончар. – Киев, Наук. думка, 1991. – 197 с.
54. Горелик, Я.Б. О режимах льдообразования при промерзании грунтов / Я.Б. Горелик // Криосфера Земли. – 2007. Т.ХІ. – № 4. – С. 42-49.
55. Грибанов, И.П. Водоснабжение и местная канализация сельских населенных пунктов / И.П. Грибанов. – Москва : Госстройиздат, 1961. – 174 с. : ил.

56. Григорьева, Е.Г. Компьютерная графика [Текст] : краткий конспект лекций : в 2 ч. / Е.Г. Григорьева // М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Волгоградский гос. ун-т", Каф. компьютерных наук и экспериментальной математики. – Волгоград : Изд-во ВолГУ. – Ч. 2. – 2012. – 35 с. : ил.

57. Гришин, А.П. Защита и управление при эксплуатации погружных электронасосов / А.П. Гришин // Автоматическое управление при работе на башню/Автоматизация и производство. – 1996. – № 10. – с.6.

58. Гришин, А.П. Создание технических систем управляемого водопользования в сельском хозяйстве: дисс. ... докт.техн.наук : 05.20.01 / Гришин Александр Петрович. – Москва, 2012. – 377 с. : ил.

59. Групповая автопоилка для животных: пат. 2488995 Российская Федерация : МПК А01К7/06 / В.Г. Петько, В. Ю. Бибарсов, М.Б. Фомин, Л.Г. Нигматов. – № 2011149282/13 ; заявл. 02.12.11 ; опубл. 10.08.13.

60. Дашенко, О.Ф. MatLAB в инженерных и научных расчетах / О.Ф. Дашенко, В.Х. Кириллов, Л.В. Коломиец, В.Ф. Оробей. – Одесса : Астропринт, 2003. – 214 с.

61. Драганов, Б.Х. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве: учеб. по инж. спец. с.-х. / Б.Х. Драганов, А.В. Кузнецов, С.П. Рудобашта // Под ред. Б.Х Драганова. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 462 с. : ил.

62. Дульнев, Г.Н. Применение ЭВМ для решения задач теплообмена: учеб. пособие для теплофизич. и теплоэнергетич. спец. вузов / Г.Н. Дульнев, В.Г. Парфенов, А.В. Сигалов. – Москва : Высш. шк., 1990. – 207 с. : ил.

63. Егизаров, А.Г. Отопление и вентиляция зданий и сооружений сельскохозяйственных комплексов / А.Г. Егизаров. – Москва : Стройиздат, 1981. – 239 с. : ил.

64. Егорушкин, В.Е. Основы теплотехники и теплоснабжение сельскохозяйственных предприятий / В.Е. Егорушкин. – Москва : Колос, 1972. – С. 92.

65. Жихарев, К.Л. Инновационные пути развития сельскохозяйственного водоснабжения и водоотведения / К.Л. Жихарев // Российский экономический интернет-журнал. – 2009. – № 4. – С. 224-227.
66. Жукаускас, А.А. Конвективный перенос в теплообменниках / А.А. Жукаускас. – Москва : Наука, 1982. – 472 с. : ил.
67. Зайдель, А.Н. Погрешности измерений физических величин / А.Н. Зайдель. – Ленинград : Наука, 1985.
68. Зайцев, А.М. Анализ причин обрушения водонапорной башни Рожновского / А.М. Зайцев, С.Н. Колодежнов, В.И. Щербаков // Пожаровзрывобезопасность. – 2004. Т.13. – № 1. – С. 73-79.
69. Зайцев, А.М. Об отрицательных последствиях отогрева стальных конструкций с замерзшей водой открытым пламенем, на примере обрушения водонапорной башни Рожновского / А.М. Зайцев, С.Н. Колодежнов, В.И. Щербаков // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2012. – № 5. – С. 138-147.
70. Зарубин, В.С. Инженерные методы решения задач теплопроводности / В.С. Зарубин. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 326 с. : ил.
71. Захаров, А.А. Применение тепла в сельском хозяйстве: учебное пособие для студентов с.-х. вузов / А.А. Захаров. – Москва : Колос, 1974. – 256 с.
72. Зацепина, Г.Н. Свойство и структура воды / Г.Н. Зацепина. – Москва : Изд-во Московского ун-та, 1971. – 165 с.
73. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич; пер. с англ. – Москва : Мир, 1975. – 539 с.
74. Зуев, В.М. Проблемы повышения эффективности животноводства / В.М. Зуев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1998. – №9. – С. 10-11.

75. Ибрагимов, А.М. Нестационарный тепло- и массоперенос в многослойных ограждающих конструкциях: дисс. ... докт.техн.наук : 05.23.01 / Ибрагимов Александр Майорович. – Москва, 2006. – 348 с. : ил.
76. Иванова, М.Т. Водоснабжение фермерских хозяйств: Сборник материалов научно-технической конференции / М.Т. Иванова, Г.Н. Пурас. – 2003. – С. 64-67.
77. Ильин, А.М. Согласование асимптотических разложений решений краевых задач / А.М. Ильин. – Москва : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 336 с.
78. Каганович, Б.М. Моделирование термодинамических процессов / Б.М. Каганович, С.П. Филиппов, Е.Г. Анциферов. – Новосибирск : Наука, 1993. – 98 с.
79. Калиниченко, В.И. Численные решения задач теплопроводности / В.И. Калиниченко, А.Ф. Коций, А.И. Ропавка. – Харьков : Вища шк., 1987. – 108 с. : ил.
80. Каракулев, В.В. Как стать начинающим фермером. Ответы на основные вопросы о том, как стать начинающим фермером, используя инструменты государственной поддержки : учебное пособие для студентов высших аграрных учебных заведений, обучающихся по специальностям и направлениям высшего профессионального образования / В. В. Каракулев, Д. А. Сюсюра, Р. Р. Сагитов. – Оренбург : Изд. Центр ОГАУ, 2012. – 79 с.
81. Кобяк, П.Р. Энергосберегающие технологии горячего водоснабжения усадебных домов (коттеджей) / П.Р. Кобяк, А.В. Чебодаев, А.В. Бастрон // Молодежь и наука — третье тысячелетие. – Красноярск, 2000. – С. 114-116.
82. Ковальский, Н.Г. Современное состояние популяции золотого карася *Carassius carassius* (L.) Чухломского озера Костромской области: дисс. ... канд.биолог.наук : 03.00.16 / Ковальский Николай Григорьевич. – Кострома, 2005. – 116 с. : ил.
83. Коздоба, Л.А. Решения нелинейных задач теплопроводности / Л.А. Коздоба. – Киев : Наукова думка, 1976. – 136 с.

84. Козлов, Д.В. Методы практической гидроледотермики, используемые для расчета температуры воды и льдообразования в водоемах и водотоках: Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции / Д.В. Козлов, Б.Ф. Никитенков, А.В. Верхоглядov. – 2003. – С. 111-113.

85. Колыхан, Л.И. Тепломассоперенос при фазовых превращениях диссоциирующих теплоносителей / Л.И. Колыхан, В.Ф. Пуляев, В.Н. Соловьев. – Минск : Наука и техника, 1984. – 256 с. : ил.

86. Коннор, Дж. Метод конечных элементов в механике жидкости / Дж. Коннор, К. Бреббиа; пер. с англ. – Ленинград : Судостроение, 1979. – 264 с.

87. Костышин, В.С. Моделирование режимов работы центробежных насосов на основе электрогидравлической аналогии / В.С. Костышин // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. – 2004. – № 1. – С. 6.

88. Кошелев, П.А. Водоснабжение в сельской местности в особых условиях / П.А. Кошелев, С.Н. Савинов. – Москва : Стройиздат, 1983. – 72 с. : ил.

89. Кудрявцев, Е.М. Mathcad 11: Полное руководство по русской версии / Е.М. Кудрявцев. – Москва : ДМК Пресс, 2005. – 592 с. : ил.

90. Кузнецов, А.Ф. Справочник по ветеринарной гигиене / А.Ф. Кузнецов, В.И. Баланин. – Москва : Колос, 1984. – 335 с. : ил.

91. Кузьмин, Г.П. Разработка эффективных методов создания и эксплуатации подземных резервуаров в криолитозоне : автореф. дис. ... докт.техн.наук : 04.00.07 / Кузьмин Георгий Петрович. – Якутск, 1999. – 42 с.

92. Кузьмин, М.В. Нетрадиционные рабочие органы для технико-технологической модернизации сельскохозяйственного производства : дисс. ... докт.техн.наук : 05.20.01 / Кузьмин Мстислав Витальевич. – Москва, 2009. – 430 с. : ил.

93. Кузьмин, М.П. Электрическое моделирование нестационарных процессов теплообмена / М.П. Кузьмин. – Москва : Энергия, 1974. – 416 с. : ил.

94. Кулинченко, В.Р. Справочник по теплообменным расчетам / В.Р. Кулинченко. – Киев : Техника, 1990. – 163 с. : ил.
95. Кутателадзе, С.С. Основы теории теплообмена / С.С. Кутателадзе. – Москва : Атомиздат, 1979. – 416 с.
96. Кухлинг, Х. Справочник по физике / Х. Кухлинг ; пер. с нем. Е.М. Лейкина. – 2-е изд. – Москва : Мир, 1985. – 520 с. : ил. – С. 234. – табл. 29.
97. Лазарев, Ю.Ф. MatLAB 6.5. Математическое моделирование физических процессов и технических систем: учебный курс / Ю.Ф. Лазарев. – Киев : 2004. – 474 с.
98. Лазутин, В.Н. Использование электростатических полей для определения свойств качества сельскохозяйственных материалов и объектов : дисс. ... докт.техн.наук : 05.20.02 / Лазутин Валерий Николаевич. – Санкт-Петербург, 1997. – 291 с. : ил.
99. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика: учебное пособие. В 10 т. Т. VI. Гидродинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – 3-е изд., перераб. – Москва : Наука. Гл. ред. физ-мат. лит., 1986. – 736 с.
100. Лашутина, Н.Г. Техническая термодинамика с основами теплопередачи и гидравлики / Н.Г. Лашутина, О.В. Макашова, Р.М. Медведев. Под ред. Р.М. Медведева. – Ленинград : Машиностроение, 1988. – 336 с.
101. Липанов, А.М. Численный эксперимент в классической гидромеханике турбулентных потоков / А.М. Липанов, Ю.Ф. Кисаров, И. Г. Ключников. – Екатеринбург : УрО РАН, 2001. – 160 с.
102. Лисиенко, В.Г. Математическое моделирование теплообмена в печах и агрегатах / В.Г. Лисиенко, В.В. Волков, А.Л. Гончаров. Под ред. В.Г. Лисиенко. – Киев : Наук. думка, 1984. – 230 с. : ил.
103. Луканин, В.Н. Теплотехника / В.Н. Луканин. – Москва : Высшая школа, 2006. – 671 с.

104. Мазуха, Н.А. Контроль подачи и спуска воды в водонапорной башне / Н.А. Мазуха // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2015. Т.3. – № 5-4(16-4). – С. 105-110.

105. Мамедов, Г.Б. Резервы эффективности механизации малых ферм / Г.Б. Мамедов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1999. – №9. – С.7.

106. Мартыненко, О.Г. Свободно-конвективный теплообмен на вертикальной поверхности: граничные условия II рода / О.Г. Мартыненко, Ю.А. Соковишин. – Минск : Наука и техника, 1977. – 214 с.

107. Мартыненко, О.Г. Свободно-конвективный теплообмен: справочник / О.Г. Мартыненко, Ю.А. Соковишин. Под ред. Р.И. Облоухина. – Минск : Наука и техника, 1982. – 400 с.

108. Марчук, Г.И. Введение в проекционно-сеточные методы / Г.И. Марчук, В.И. Агошков. – Москва : Наука, 1981. – 416 с.

109. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников [и др.]. – Ленинград : Колос, 1981.

110. Митчелл, Э. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными / Э. Митчелл, Р. Уэйт; пер. с англ. – Москва : Мир, 1981. – 214 с.

111. Морозов, Н.М. Приоритетные направления создания техники для механизации животноводства / Н.М. Морозов // Техника в сельском хозяйстве. – 1998. – №5. – С. 3-5.

112. Мухачев, В.А. Планирование и обработка результатов эксперимента: Учебное пособие / В.А. Мухачев. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 118 с.

113. Нащокин, В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: учебное пособие / В.В. Нащокин. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Высшая школа, 1980. – 469 с.

114. Нестационарный теплообмен в трубах / Н.М. Беляев, А.А. Кочубей, А.А. Рядно, В.Ф. Фалий. Под общ. ред. Н.М. Беляева. – Киев; Донецк: Вища школа, 1980. – 160 с. : ил.

115. Оболенский, Н.В. Анализ электроподогревателей, используемых при нагреве воды в технологических процессах сельскохозяйственных производств / Н.В. Оболенский, В.Л. Осокин // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2010. – № 3. – С. 60-64.

116. Оборудование водопроводно-канализационных сооружений / А.С. Москвитин. Б.А. Москвитин, Г.М. Мирончик, Р.Г. Шапиро. Под ред. А.С. Москвитина. – Москва : Стройиздат, 1979. – 430 с. : ил.

117. Оден, Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред / Дж. Оден; пер. с англ. – Москва : Мир, 1976. – 464 с.

118. Озерский, А.И. Основы моделирования гидромурф, работающих в тяжёлых условиях эксплуатации / А.И. Озерский // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. – 2012. – № 1. – С. 105-113.

119. Ольгаренко, Г.В. Развитие научного обеспечения в области сельскохозяйственного водоснабжения / Г.В. Ольгаренко, А.А. Алдошкин // Мелиорация и водное хозяйство. – 2006. – № 1. – 35-36 С.

120. Онегов, А.П. Гигиена сельскохозяйственных животных / А.П. Онегов, И.Ф. Храбустовский, В.И. Черных. – 3-е изд., под ред. А.П. Онегова, испр. и доп. – Москва : Колос, 1984. – 400 с. : ил.

121. Панасевич, И.С. Теплотехнические расчеты по сельским теплотехническим объектам: учебное пособие / И.С. Панасевич. – Горький, 1975. – 128 с.

122. Панасевич, И.С. Теплотехнические расчеты: учебное пособие / И.С. Панасевич. – Горький : Горьк. СХИ, 1983. – 74 с.

123. Пантакар, С.В. Тепло- и массообмен в пограничных слоях / С.В. Пантакар, Д. Сполдинг; пер. с англ. – Москва : Энергия, 1971. – 121 с.

124. Пантакар, С.В. Численное решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах / С.В. Пантакар ; пер. с

англ. Е.В. Калабина. Под ред. Г.Г. Янькова. – Москва : Изд-во МЭИ, 2003. – 312 с. : ил.

125. Пантакар, С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости / С.В. Пантакар; пер. с англ. Под ред. В.Д. Виленского. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 168 с.

126. Пасконов, В.М. Численное моделирование процессов тепло- и массообмена / В.М. Пасконов, В.И. Полежаев, Л.А. Чудов. – Москва : Наука, 1984. – 285 с. : ил.

127. Петько, В.Г. Анализ условий обледенения водонапорной башни Рожновского в системе водоснабжения объектов АПК [Текст] / В.Г. Петько, М.Б. Фомин // Известия ОГАУ. – 2017. – №1. – С. 85-89.

128. Петько, В.Г. Водонапорная башня с ветроколесом / В.Г. Петько, А.Б. Рязанов, М.Б. Фомин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2014. – №2. – С. 32.

129. Петько, В.Г. Испытание теплогенератора для ВЭУ / В.Г. Петько, М.Б. Фомин, И.А. Рахимжанова // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург, 2010. Том 2. – С.60-61.

130. Петько, В.Г. Исследование динамики нарастания льда на внутренних стенках водонапорных башен / В.Г. Петько, А.Б. Рязанов // Техника в сельском хозяйстве. – 2014. – №1. – С. 31-32.

131. Петько, В.Г. Незамерзающая водонапорная башня / В.Г. Петько, Рязанов А.Б. // Сельский механизатор: труды / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. – Сергиев-Посад. – 2008. – № 2. – С.32.

132. Петько, В.Г. Оптимизация степени загрузки ветроагрегата при различных скоростях ветра / В.Г. Петько, И.А. Рахимжанова, В.В. Пугачёв, А.С. Петров // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2014. – №4. – С. 77.

133. Петько, В.Г. Оценка энергоэффективности систем подачи воды в водопроводную сеть населенного пункта / В.Г. Петько, А.Б. Рязанов // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 5. – С. 25-26.

134. Петько, В.Г. Перспективы усовершенствования водоснабжения в АПК / В.Г. Петько, Рязанов А.Б. // Состояние, перспективы экономико-технологического развития и экологически безопасного производства в АПК / Материалы международной научно-практической конференции. Часть 1. – Оренбург. – 2010. – С. 524-527.

135. Петько, В.Г. Повышение эффективности функционирования электронасосных агрегатов в системах водоснабжения сельского хозяйства: дис. ... докт.техн.наук: 05.20.02 / Петько Виктор Гаврилович. – Оренбург, 1995. – 389 с.

136. Петько, В.Г. Совершенствование конструктивных параметров водонапорных башен Рожновского для повышения устойчивости к обледенению / В.Г. Петько, А.Б. Рязанов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – Оренбург. – 2009. – № 4. – С. 85-86.

137. Петько, В.Г. Способы измерения толщины льда на внутренних стенках башен Рожновского / В.Г. Петько, А.Б. Рязанов // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: труды / Оренбургского регионального отделения Российской инженерной академии. – Оренбург. – 2007. – Выпуск 8. – С. 28-30.

138. Петько, В.Г. Теплоснабжение объектов АПК с использованием энергии ветра / В.Г. Петько, М.Б. Фомин, И.А. Рахимжанова // Известия ОГАУ. – 2010. – №3. – С. 55-56.

139. Петько, В.Г. Экспериментальная установка для исследования намораживания льда на внутренних стенках металлической цилиндрической емкости / В.Г. Петько, А.Б. Рязанов // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: труды / Оренбургского регионального отделения Российской инженерной академии. – Оренбург. – 2009. – Выпуск 9. – С. 125-126.

140. Петько, В.Г. Экспериментальное исследование нестационарного теплового потока через цилиндрическую стенку переменной толщины /

В.Г. Петько, А.Б. Рязанов // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: труды / Оренбургского регионального отделения Российской инженерной академии. – Оренбург. – 2009. – Выпуск 9. – С. 160-162.

141. Пехович, А.И. Расчеты теплового режима твердых тел. – 2-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Энергия, 1976. – 351 с.

142. Питолин, В.Е. Построение математической модели процесса возбуждения динамических составляющих поперечных сил в рабочем колесе центробежного насоса / В.Е. Питолин // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия С: Фундаментальные науки. – 2011. – № 4. – С. 52-58.

143. Победря, Б.Е. Основы механики сплошной среды. Курс лекций / Б.Е. Победря, Д.В. Георгиевский. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 272 с.

144. Половко, А.М. Mathcad для студента / А.М. Половко, И.В. Ганичев. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2006. – 336 с. : ил.

145. Попов, Н.М. Управление насосами в системах сельскохозяйственного водоснабжения / Н.М. Попов, Д.В. Матыцин // Труды международной научно-технической конференции. – 2008. Т.3. – С. 247-252.

146. Прогноз погоды [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gismeteo.ru> (дата обращения: 01.09.2014).

147. Процесс образования льда на поверхности криогенных баков: Сборник статей / В.В. Бирюк, А.И. Шепелев. – Самара. – 2008. – №3(16). – С. 15-20.

148. Расписание погоды [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.gr5.ru> (дата обращения: 01.09.2014).

149. Резников, А.Н. Тепловые процессы в технологических системах: учебник для вузов по специальностям «Технология машиностроения» и «Металорежущие станки и инструменты» / А.Н. Резников, Л.А. Резников. – Москва : Машиностроение, 1990. – 288 с. : ил.

150. Реймер, В.В. Обоснование методики повышения эффективности эксплуатации колесных тракторов класса 1.4 при работе на наклонной

опорной поверхности : дисс. ... канд.техн. наук : 05.20.01, 05.20.03 / Реймер Вадим Валерьевич. – Оренбург, 2012. –182 с. : ил.

151. Репик, Е.У. Турбулентный пограничный слой. Методика и результаты экспериментальных исследований / Е.У. Репик, Ю.П. Соседко. – Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 312 с.

152. Ривкин, С.Л. Термодинамические свойства воды и водяного пара: справочник / С.Л. Ривкин, А.А. Александров. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 80 с. : ил.

153. Ривкин, С.Л. Термодинамические свойства воздуха и продуктов сгорания топлив / С.Л. Ривкин. – Москва : Энергоатомиздат, 1984. – 105 с. : ил.

154. Романенко, П.Н. Гидродинамика и тепломассообмен в пограничном слое: справочник / П.Н. Романенко. – Москва : Энергия, 1974. – 464 с.

155. Рубанов, И.А. Методические указания по применению математических методов планирования эксперимента в сельском хозяйстве / И.А. Рубанов, Н.Н. Михайлов, Л.А. Тимохина. – Москва : КОЛОС, 1973.

156. Рыбак, А.Т. Моделирование и экспериментальные исследования гидромеханической системы со знакопеременной нагрузкой / А.Т. Рыбак, В.П. Жаров, Р.А. Фридрих // Вестник Донского государственного технического университета. – 2006. Т.6. – № 1. – С. 17-25.

157. Рыженков, В.А. Проблемы и способы борьбы с инеем и льдообразованием на проводах и элементах в ЛЭП / В.А. Рыженков, М.В. Лукин, А.П. Карпунин // Надежность и безопасность энергетики. – 2011. – № 15. – С. 54-58.

158. Рязанов, А.Б. Исследование стационарного режима работы водонапорной башни Рожновского / А.Б. Рязанов // Вестник Оренбургского государственного университета: труды / Региональная конференция молодых ученых и специалистов Оренбургской области. – Оренбург, 2006. – № 13. – С. 97-98.

159. Рязанов, А.Б. Повышение эффективности функционирования водонапорной башни Рожновского при отрицательных температурах окружающего воздуха: дис. ... канд.техн. наук: 05.20.01 : защищена 24.02.12 / Рязанов Алексей Борисович. – Оренбург, 2012. –136 с.

160. Сабоннадьер, Ж.-К. Метод конечных элементов и САПР / Ж.-К. Сабоннадьер, Ж.-Л. Кулон; пер. с франц. – Москва : Мир, 1989. – 190 с. : ил.

161. Савельев, А.П. Устройство автоматического управления и защиты электроприводов в водоснабжении сельскохозяйственного производства: межвузовский сборник научных трудов / А.П. Савельев, В.Н. Васин, Е.П. Васина. – Саранск, 2013. – С. 183-186.

162. Сазонов, Э.В. Моделирование процессов поступления тепловых ресурсов нетрадиционных источников теплоты для систем теплоснабжения / Э.В. Сазонов, Д.М. Чудинов, К.Н. Сотникова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – Новосибирск, 2010. – №1. – С. 55-62.

163. Самарский, А.А. Вычислительная теплопередача / А.А. Самарский, П.Н. Вабищевич. – Москва : Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

164. Самарский, А.А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры / А.А. Самарский, А.П. Михайлов. – 2-е изд., испр. – Москва : Физматлит, 2001. – 320 с.

165. Свободноконвективные течения, тепло- и массообмен / Б. Гебхарт, И. Джалурия, Р. Махаджан, Б. Саммакия. В 2-х книгах, кн. 1. Пер. с англ. – Москва : Мир, 1991. – 678 с. : ил.

166. Свободноконвективные течения, тепло- и массообмен / Б. Гебхарт, И. Джалурия, Р. Махаджан, Б. Саммакия. В 2-х книгах, кн. 2. Пер. с англ. – Москва : Мир, 1991. – 528 с. : ил.

167. СНиП 2.04.02.-84 Водоснабжение наружные сети и сооружения : утв. Госстроем СССР 30.04.86 : взамен СНиП II-31-74 : дата введ. 01.01.85. – Москва : [б. и.], 2000. – 160 с.

168. Современные математические модели конвекции / В.К. Андреев, Ю.А. Гапоненко, О.Н. Гончарова, В.В. Пухначев. – Москва : Физматлит, 2008. – 368 с.
169. Сосновский, А.В. Льдообразование в факеле искусственного дождя как метод использования водных и климатических ресурсов : дисс. ... канд.геогр.наук : 11.00.07 / Сосновский Александр Вульфович. – Москва, 1983. – 169 с. : ил.
170. Сотников, А.Г. Теплофизический расчет теплотерь подземной части здания / А.Г. Сотников // АВОК. – 2010. – № 8. – 62-67 С.
171. Сотникова, К.Н. Комбинированные системы теплоснабжения, сочетающие традиционные и возобновляемые источники энергии : дисс. ... канд.техн. наук : 05.23.03 / Сотникова Ксения Николаевна. – Воронеж, 2009. – 200 с. : ил.
172. Справочник по теплопроводности жидкостей и газов / Н.Б. Варгафтик, Л.П. Филиппов, А.А. Тарзиманов, Е.Е. Тоцкий. – Москва : Энергоатомиздат, 1990. – 352 с.
173. Стренг, Г. Теория метода конечных элементов / Г. Стренг, Дж. Фикс; пер. с англ. – Москва : Мир, 1977. – 346 с.
174. Су Мен Ел, Разработка модели и исследование теплового режима охлаждаемых конструкций силовой установки самолета: дис. ... канд.техн. наук: 05.07.05 / Су Мен Ел. – Москва, 2011. –187 с.
175. Сычев, В.В. Сложные термодинамические системы. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Энергоатомиздат. 1986. – 207 с. : ил.
176. Сьярле, Ф. Метод конечных элементов для эллиптических задач / Ф. Сьярле; пер. с англ. – Москва : Мир, 1980. – 507 с.
177. Темкин, А.Г. Обратные методы теплопроводности / А.Г. Темкин. – Москва : Энергия, 1973. – 464 с.
178. Теоретические основы тепло- и хладотехники / под ред. Э.И. Гуйго. Ч.2. Теплообмен: учебное пособие. – Ленинград : Изд-во Ленингр. ун-та, 1976. – 224 с.

179. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник / Е.В. Аметистов, В.А. Григорьев, Б.Т. Емцев [и др.]. Под общ. ред. В.А. Григорьева, В.М. Зорина. – Москва : Энергоиздат, 1982. – 510 с. : ил.
180. Теплотехника : учебник для вузов. / под ред. А.П. Баскакова. – 2-е изд., перераб. – Москва : Энергоатомиздат., 1991. – 224 с.
181. Теплотехнический справочник. Т.1 / перераб. под ред. В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. – 2-е изд. Москва : Энергия, 1975. – 744 с. : ил.
182. Толстых, А.И. Компактные разностные схемы и их применение в задачах аэрогидродинамики / А.И. Толстых. – Москва : Наука, 1990. – 230 с.
183. Трубопроводный транспорт – 2015 : Материалы X Международной учебно-научно-практической конференции / Сборник. – Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2015. – 502 с.
184. Туголуков, Е.Н. Решение задач теплопроводности методом конечных интегральных преобразований: учебное пособие / . Е.Н. Туголуков. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2005. – 116 с.
185. Федоров, В.И. Метод элементарных балансов для расчета нестационарных процессов поверхностных теплообменных аппаратов / В.И. Федоров, З.А. Марценюк. – Киев : Наук. думка, 1977. – 143 с.
186. Филлиппов, И.Ф. Основы теплообмена в электрических машинах / И.Ф. Филлиппов. – Ленинград : Энергия, 1974. – 384 с. : ил.
187. Фирсов, М.М. Планирование эксперимента при создании сельскохозяйственной техники / М.М. Фирсов. – Москва : МСХА, 1999. – 130 с.
188. Фомин, М.Б. Альтернативные источники энергии в Оренбургской области / М.Б. Фомин, Кузнецов Е.А. // Современные материалы, техника, технология. – 2013. – №1. – С. 371-374.
189. Фомин, М.Б. Ветроэнергетика в сельском хозяйстве / М.Б. Фомин, А.А. Митрофанов // Инновационно-промышленный форум. – 2010. – С. 65-67.

190. Фомин, М.Б. К вопросу водообеспечения потребителей сельскохозяйственного назначения / М.Б. Фомин, И.А. Рахимжанова, И.А. Чуйков // Актуальные проблемы энергетики АПК. – Оренбург, 2015. – С. 223-224.
191. Фомин, М.Б. К вопросу замены водонапорных башен Рожновского / М.Б. Фомин, Е.А. Кузнецов, Э.А. Нигматов // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях. – 2014. – №2. – С. 225-228.
192. Фомин, М.Б. Перспективы использования ветроэнергетических установок для энергообеспечения автономных мелкофермерских предприятий в условиях оренбургской области / М.Б. Фомин, Э.А. Нигматов // Техника и технологии: пути инновационного развития. – Курск, 2013. – С. 178-183.
193. Фомин, М.Б. Применение энергии ветра для теплоснабжения объектов АПК / М.Б. Фомин, И.А. Рахимжанова // Актуальные проблемы энергетики в АПК. – 2010. – С. 344-345.
194. Фридман, А. Вариационные принципы и задачи со свободными границами / А. Фридман ; пер. с англ. Под ред. Н.Н. Уралцевой. – Москва : Наука. Гл. ред. физ.-мат.лит., 1990. – 536 с.
195. Фурсов, В.Б. Моделирование в системе SimPowerSystem: учеб. пособие. – Воронеж : Воронеж. гос. техн. ун-т. – 2005. – 116 с.
196. Фурсов, В.Б. Моделирование электропривода: учеб. пособие / В.Б. Фурсов. – Воронеж : Воронеж. гос. техн. ун-т. – 2008. – 105 с.
197. Харчук, С.И. Расчет напорной характеристики центробежного насоса численным методом / С.И. Харчук, А.В. Болдырев, С.М. Жижин // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета. – 2009. Т.12. – № 2. – С. 51-58.
198. Хаузен, Х. Теплопередача при противотоке, прямотоке и перекрестном токе / Х. Хаузен ; пер. с нем. И.Н. Дулькина. – Москва : Энергоиздат, 1981. – 384 с. : ил.
199. Хемминг, Р.В. Численные методы для научных работников и инженеров / Р.В. Хемминг. – Изд.: Наука, 1972. – 399 с.

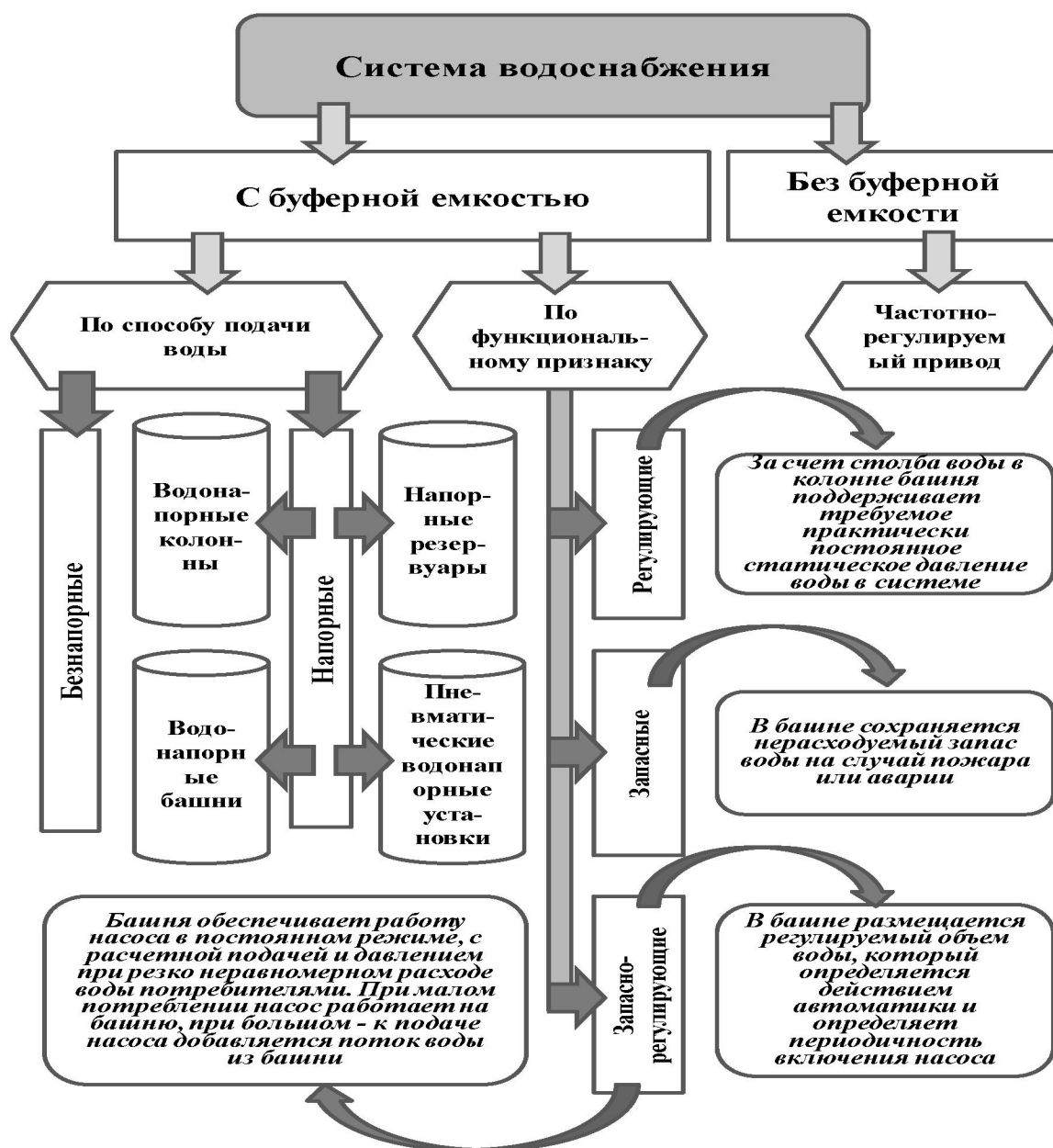
200. Чебодаев, А.В. Использование энергии ветра для энергообеспечения установок горячего водоснабжения усадебных домов в условиях Сибири : автореф. дис. ... канд.техн.наук : 05.20.02 / Чебодаев Александр Валериевич. – Красноярск, 2003. – 24 с.
201. Чернов, А.В. Основы гидравлики и теплотехники / А.В. Чернов, Н.К. Бессеребренников, В.С. Силецкий. – Москва : Энергия, 1976. – 416 с.
202. Черпаков, П.В. Теория регулярного теплообмена / П.В. Черпаков. – Москва : Энергия, 1975. – 225 с. : ил.
203. Чибилёв, А.А. Природа Оренбургской области / А.А. Чибилёв. Часть I. Оренбургский филиал Русского географического общества. – Оренбург, 1995. – 128 с.
204. Чумак, И.Г. Холодильные установки : Учебник для вузов / И.Г. Чумак, В.П. Чепурненко, С.Г. Чуклин: Под ред. И.Г. Чумака. – 2-е изд., доп. и перераб. – Москва : Лег. и пищ. пром-сть, 1981. – 344 с. : ил.
205. Шефтер, Я.И. Использование энергии ветра / Я.И. Шефтер. – Москва : Энергоатомиздат, 1983. – 200 с. : ил.
206. Шулятьев, В.Н. Повышение эффективности функционирования нагнетателей-преобразователей технологических линий и технических средств в молочном скотоводстве: дисс. ... докт.техн.наук : 05.20.01 / Шулятьев Валерий Николаевич. – Киров, 2004. – 485 с. : ил.
207. Щепочкин, С.В. Режимы резания древесины в круглопильных станках по теплостой кости материала инструмента : дисс. ... канд.техн.наук : 05.21.05 / Щепочкин Сергей Владимирович. – Екатеринбург, 2012. – 195 с. : ил.
208. Экономическая оценка инженерных проектов. Методика и примеры расчетов на ЭВМ: учеб. пособие для студентов / Н.А. Волкова, В.В. Коновалов, И.А. Спицын, А.С. Иванов. – Пенза : Пензенская государственная сельскохозяйственная академия, 2002. – 262 с.
209. Экономическое обоснование организационно-технических мероприятий в курсовых и дипломных проектах / С.В. Оськин, В.Я.

Хорольский, О.А. Гончарова, А.И. Вандтке. – Краснодар : КГАУ, 2008. – 108 с.

210. Юдаев, Б.Н. Теплопередача / Б.Н. Юдаев. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высш. школа, 1981. – 319 с.

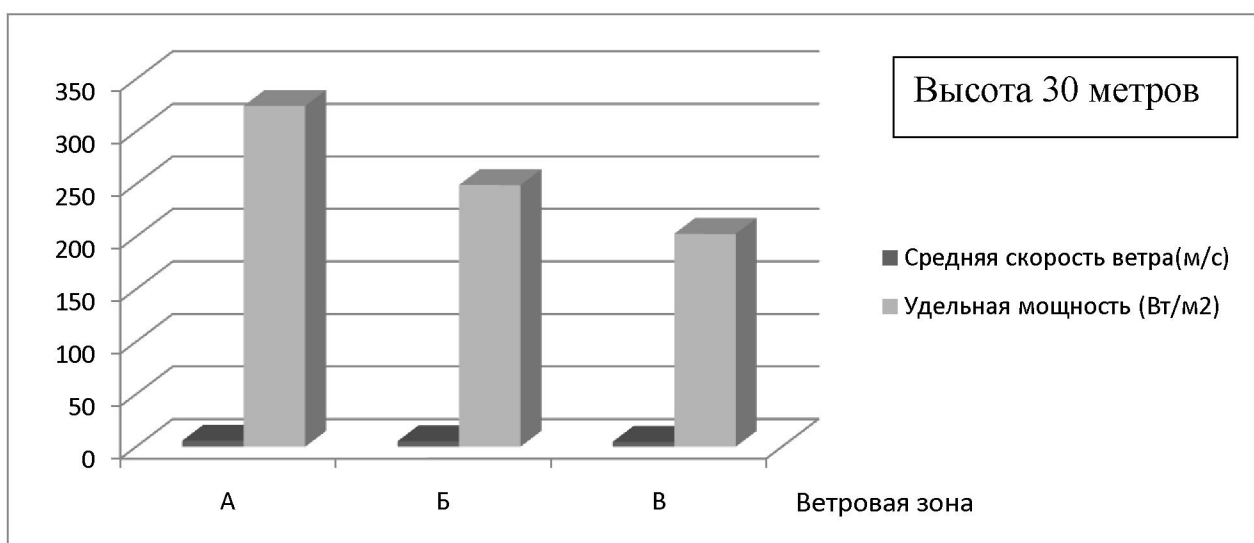
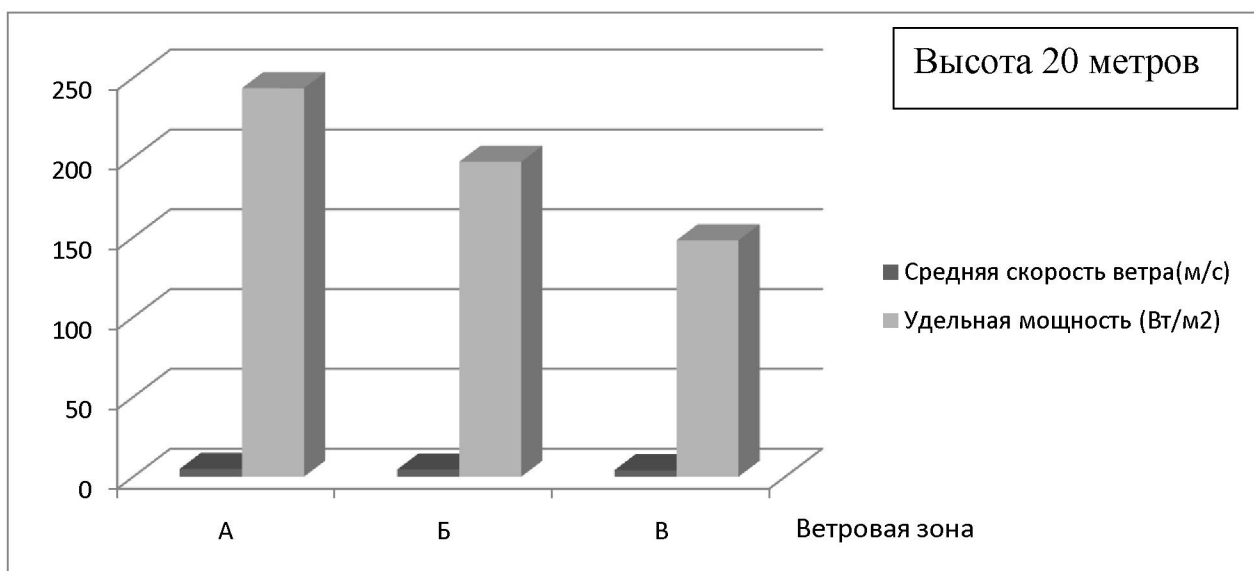
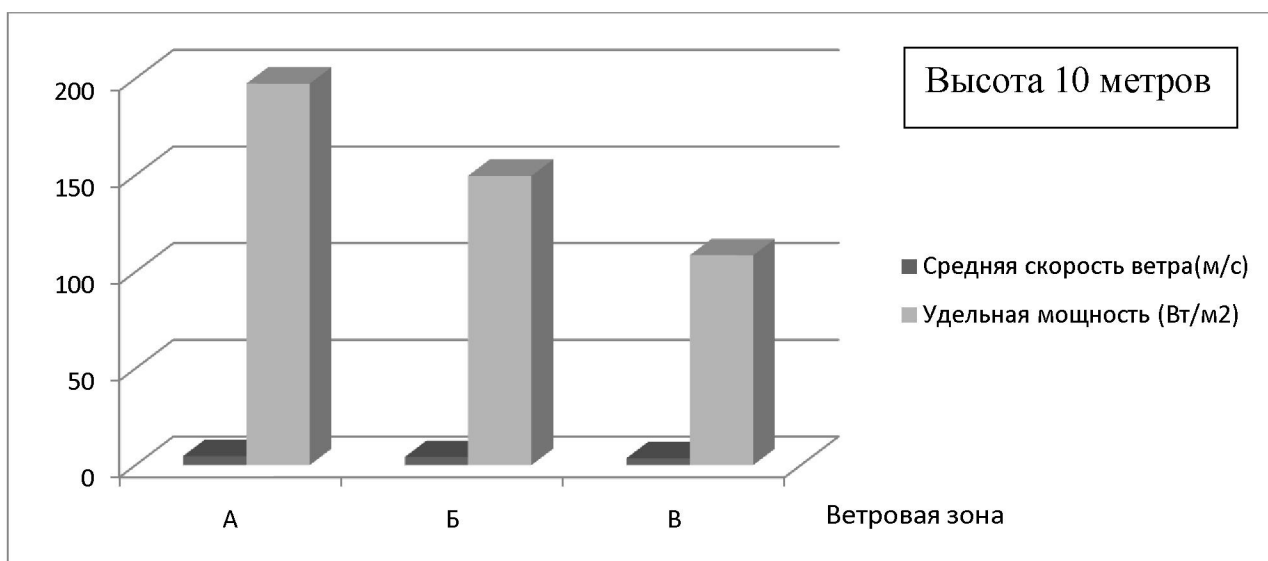
211. Юданова, А.В. Сравнительная оценка рациональной ведерной системы выпойки телят, поение по усмотрению и система выпойки с программным управлением / А.В. Юданова // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. – 2007. – № 1. – С. 290.

ПРИЛОЖЕНИЯ

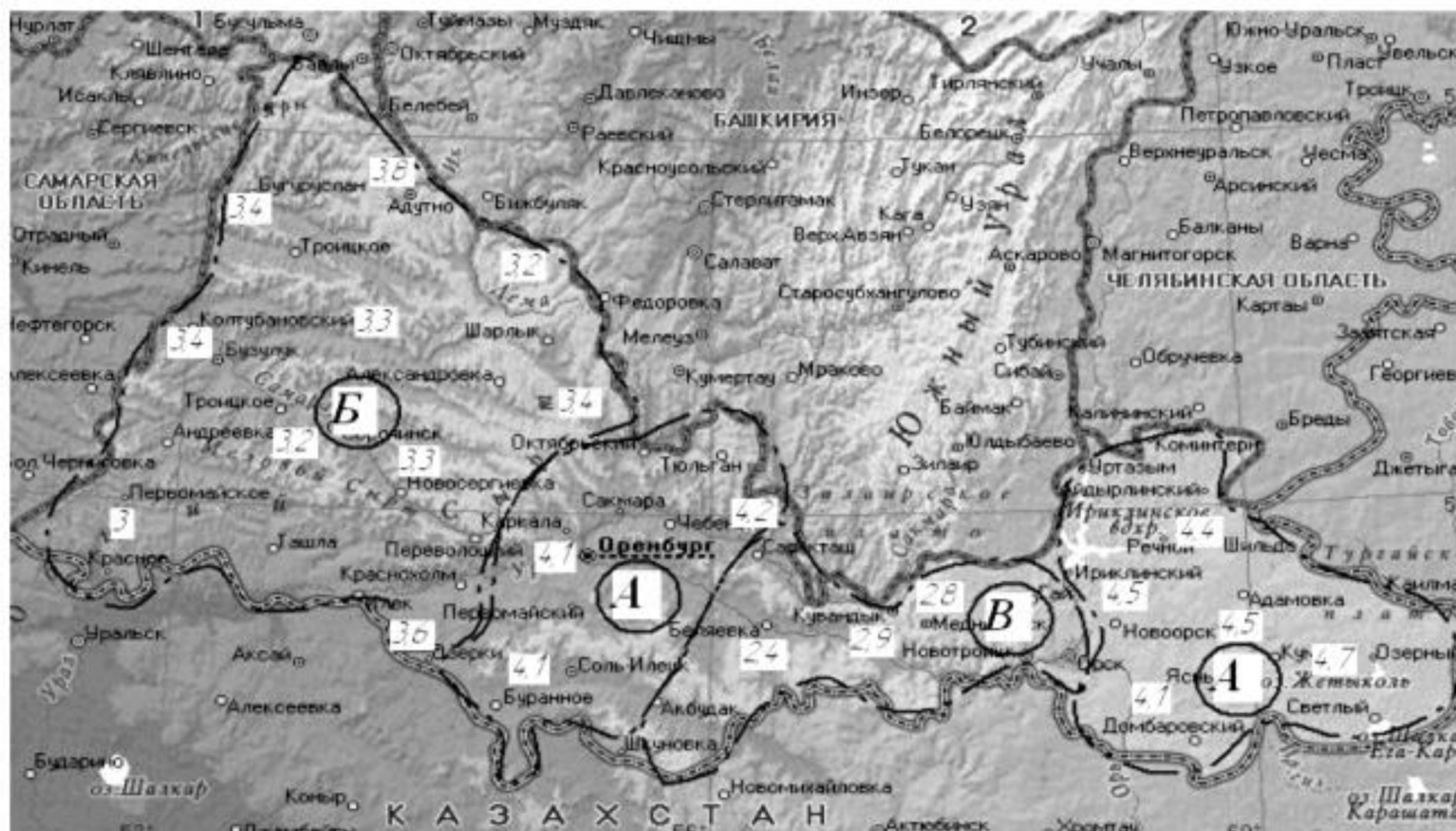


Классификационная схема систем водоснабжения

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



Ветроэнергетические ресурсы Оренбургской области.



Распределение средних скоростей ветра (м/с) в соответствии с районированием территории
Оренбургской области на высоте 10 м

Листинг программы для расчета подземной емкости

```

% параметры среды
ro_water=996; % плотность воды
ro_air=1.225; % плотность воздуха
lambda_steel=47; % коэффициент теплопроводности стали
lambda_ice=2.23; % коэффициент теплопроводности льда
lambda_grunt=1; % коэффициент теплопроводности грунта

% геометрические размеры башни
delta_steel=0.004; % толщина стенки
d_nar_v=3.020; % наружный диаметр бака
d_nar_n=1.120; % наружный диаметр опоры
h_n=12; % высота опоры
V=25; % объем бака
ice=80; % обледенение внутренних стенок башни, проценты
delta=0.7; % условная глубина грунта

% параметры климата
V_air=4; % скорость ветра
T_air=-30; % температура воздуха
T_water=0; % температура воды
T_grunt=2.6; % температура грунта
alpha_water_nadz=350; % коэффициент теплоотдачи вода-наружная стенка башни

% параметры ветроэнергетической установки
kpd=0.5; % КПД ветроэнергетической установки
d_vk=10; % диаметр ветроколеса

d_nar=d_nar_n;
d_vn=d_nar-2*delta_steel;

h_v=V*4/(pi*d_nar_v^2);
d_vn_v=d_nar_v-2*delta_steel;
d_vn_n=d_nar_n-2*delta_steel;
d_nar_ice_v=d_vn_v;
d_nar_ice_n=d_vn_n;
delta_ice_v=ice*d_nar_ice_v/(2*100);
delta_ice_n=ice*d_nar_ice_n/(2*100);
d_vn_ice_v=d_nar_ice_v-2*delta_ice_v;
d_vn_ice_n=d_nar_ice_n-2*delta_ice_n;

alpha_air=5.6+4*V_air;
R_bok=delta/lambda_grunt;
R_dno=R_bok;

count=1; % счетчик
d_nar_stat=0; % инициализация массива
h_stat=0; % инициализация массива

```

```
h=2; % для запуска цикла
```

```
S_vk=pi*d_vk^2/4;
```

```
P_va=ro_air*V_air^3*S_vk*kpd/2;
```

```
while h>0;
```

```
    S_dno=(pi*d_nar^2)/4;
```

```
    d_vn=d_nar-2*delta_steel;
```

```
    Vol_water=pi*d_vn^2*h/4;
```

```
    I=ro_water*Vol_water*d_vn^2/8;
```

```
    omega=sqrt(2*P_va/I);
```

```
    V_water=omega*d_vn/2;
```

```
    alpha_water_podz=350+2100*sqrt(V_water);
```

```
    Q_v=pi*h_v*(T_water-T_air)/(1/(alpha_air*d_nar_v)+1/(2*lambda_steel)* ...  
log(d_nar_v/d_vn_v)+1/(2*lambda_ice)*log(d_nar_ice_v/d_vn_ice_v)+ ...  
    1/(alpha_water_nadz*d_vn_ice_v));
```

```
    Q_n=pi*h_n*(T_water-T_air)/(1/(alpha_air*d_nar_n)+1/(2*lambda_steel)* ...  
log(d_nar_n/d_vn_n)+1/(2*lambda_ice)*log(d_nar_ice_n/d_vn_ice_n)+ ...  
    1/(alpha_water_nadz*d_vn_ice_n));
```

```
    Q_dno=S_dno*(T_grunt-T_water)/(R_dno+delta_steel/lambda_steel+1/alpha_water_podz);
```

```
    Q_bok=Q_v+Q_n-Q_dno;
```

```
    h=Q_bok*(R_bok+1/(2*lambda_steel)*log(d_nar/d_vn)+1/(alpha_water_podz*d_vn))/ ...  
    (pi*(T_grunt-T_water));
```

```
    d_nar_stat=cat(2,d_nar_stat,d_nar);
```

```
    h_stat=cat(2,h_stat,h);
```

```
    d_nar=d_nar+0.1;
```

```
    count=count+1;
```

```
end;
```

```
d_nar_stat(1)=[]; h_stat(1)=[];
```

```
d_nar_stat(count-1)=[]; h_stat(count-1)=[];
```

```
hold on
```

```
plot(d_nar_stat,h_stat)
```

```
grid on
```

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 162119

ВОДОНАПОРНАЯ БАШНЯ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015151509

Приоритет полезной модели 01 декабря 2015 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 05 мая 2016 г.

Срок действия патента истекает 01 декабря 2025 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2015618683

**Расчет размеров подземной части ёмкости водонапорных
башен с ветроэнергетической установкой**

Правообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего профессионального
образования «Оренбургский государственный аграрный
университет» (RU)*

Авторы: *Асманкин Евгений Михайлович (RU), Петько Виктор
Гаврилович (RU), Фомин Максим Борисович (RU), Рязанов
Алексей Борисович (RU), Рахимжанова Ильмира Агзамовна (RU)*



Заявка № 2015615587

Дата поступления 23 июня 2015 г.

Дата государственной регистрации
в Реестре программ для ЭВМ 13 августа 2015 г.

Заместитель руководителя Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Л.Л. Кuriй

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2431762

ВЕТРОУСТАНОВКА ДЛЯ НАГРЕВА ВОДЫ

Патентообладатель(ли): **Фомин Максим Борисович (RU)**

Автор(ы): **Петько Виктор Гаврилович (RU), Фомин Максим Борисович (RU), Слободсков Пётр Николаевич (RU), Бакирова Галия Рамилевна (RU)**

Заявка № 2010105887

Приоритет изобретения **18 февраля 2010 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **20 октября 2011 г.**

Срок действия патента истекает **18 февраля 2030 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2415296

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АГРЕГАТ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2009120779

Приоритет изобретения 01 июня 2009 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 марта 2011 г.

Срок действия патента истекает 01 июня 2029 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU⁽¹¹⁾ 2 415 296⁽¹³⁾ C2(51) МПК
F03D 1/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2009120779/06, 01.06.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.06.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.06.2009

(43) Дата публикации заявки: 10.12.2010 Бюл. № 34

(45) Опубликовано: 27.03.2011 Бюл. № 9

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2269027 C1, 27.01.2006. RU 2347105 C1,
20.02.2009. RU 2205291 C2, 07.05.2003. RU
2285146 C2, 10.10.2006. SU 20022103 C1,
30.10.1993. US 3740565 A, 19.06.1973.

Адрес для переписки:

460795, г.Оренбург, ул. Челюскинцев, 18,
ФГОУ ВПО "ОГАУ"

(72) Автор(ы):

Петько Виктор Гаврилович (RU).

Фомин Максим Борисович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Оренбургский государственный аграрный
университет" (RU)

RU 2 415 296 C2

RU 2 415 296 C2

(54) ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АГРЕГАТ

(57) Реферат:

Изобретение относится к ветроэнергетике и касается ветроэнергетических агрегатов, в которых механическая энергия снимается с обода ветроколеса. Ветроэнергетический агрегат содержит ветроколесо с горизонтальной осью вращения, жестко связанной со стойкой, имеющей возможность ориентации на ветер путем поворота вокруг вертикальной оси, и закрепленный на выходном валу ветроэнергетического агрегата ролик, образующий с ободом ветроколеса фрикционную пару с силой взаимного прижатия, пропорциональной величине развиваемого ветроколесом момента. Агрегат

дополнительно снабжен двумя роликами, смещенными по ободу ветроколеса по отношению к имеющемуся ролику в ту и другую стороны на 120°, причем все три ролика контактируют с торцевой поверхностью обода, расположенной с подветренной стороны, а их оси неподвижно связаны со стойкой. Взаимное прижатие контактирующих поверхностей осуществляется лобовым давлением ветра за счет придания ветроколесу возможности смещения вдоль его оси. Изобретение обеспечивает повышение надежности ветроагрегата за счет упрощения кинематической схемы. 2 ил.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2421628

ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *с.м. на обороте*

Заявка № 2009136415

Приоритет изобретения 01 октября 2009 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 20 июня 2011 г.

Срок действия патента истекает 01 октября 2029 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам



Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 421 628** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
F03D 9/00 (2006.01)**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2009136415/06, 01.10.2009

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.10.2009

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 01.10.2009

(45) Опубликовано: 20.06.2011 Бюл. № 17

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 1346848 A1, 07.06.1986. SU 1236151 A1,
02.01.1984. RU 2253040 C1, 27.05.2005. US
4143522 A, 13.03.1979.

Адрес для переписки:

460795, г.Оренбург, ул. Челюскинцев, 18,
ФГОУ ВПО ОГАУ

(72) Автор(ы):

Петько Виктор Гаврилович (RU),
Фомин Максим Борисович (RU),
Бакирова Галия Рамилевна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Оренбургский государственный аграрный
университет" (RU)**(54) ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА**

(57) Реферат:

Изобретение относится к ветроэнергетике и касается ветроэнергетических агрегатов с горизонтальной осью вращения. Ветроэнергетическая установка содержит ветроколесо с горизонтальным валом, соединенным с электрогенератором и крыльчаткой, размещенной в баке теплогенератора. Бак теплогенератора соединен с контуром циркуляции рабочей жидкости так, что прямой трубопровод присоединен к внешней части бака, центральная часть которого соединена трубопроводом с расширительной емкостью. На обратном трубопроводе установлен исполнительный орган с приводом от автоматического устройства управления, регулирующий гидравлическое сопротивление контура циркуляции. В контур циркуляции

дополнительно введен циркуляционный насос и эжектор, всасывающий трубопровод которого присоединен к нижней части расширительной емкости, установленный по ходу циркуляции до исполнительного органа. Обратный трубопровод контура циркуляции присоединен к внешней части бака теплогенератора, в центральной части которого на валу крыльчатки установлен сальник. Трубопровод, который соединяет центральную часть бака теплогенератора, выведен в верхнюю часть расширительной емкости, а в качестве устройства управления установлен оптимизатор мощности ветроколеса. Изобретение обеспечивает оптимальное использование энергии ветра при любом изменении нагрузки электрогенератора или скорости ветра. 1 ил.

RU 2 421 628 C1

RU 2 421 628 C1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2592894

**СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ
ВОДОГАЗОВОГО КОТЛА БЕЗБАШЕННОЙ ВОДОКАЧКИ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2015110728

Приоритет изобретения **25 марта 2015 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **06 июля 2016 г.**

Срок действия патента истекает **25 марта 2035 г.**

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Излиев



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 592 894** ⁽¹³⁾ **C1**(51) МПК
E03B 11/14 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2015110728/13, 25.03.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
25.03.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.03.2015

(45) Опубликовано: 27.07.2016 Бюл. № 21

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: SU 138818 A1, 01.01.1961. RU 2446262
C2, 27.03.2012. SU 1594254 A1, 23.09.1990. US
6435209 B1, 20.08.2002.

Адрес для переписки:

460795, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, 18,
ФГБОУ ВПО "ОГАУ"

(72) Автор(ы):

Петько Виктор Гаврилович (RU),
Фомин Максим Борисович (RU),
Рязанов Алексей Борисович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Оренбургский государственный аграрный
университет" (RU)(54) СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ЗАПОЛНЕНИЯ ВОДОГАЗОВОГО КОТЛА БЕЗБАШЕННОЙ
ВОДОКАЧКИ

(57) Формула изобретения

Способ повышения степени заполнения водогазового котла безбашенной водоканчки, содержащей герметичный котел, разделенный на две полости эластичной мембраной, при этом одну из полостей заполняют газом под давлением, а вторая гидравлически связана с источником воды, отличающийся тем, что котел размещают в среде со стабильной температурой, равной температуре поступающей в него воды, а газовую полость частично заполняют жидкостью, температура насыщенного пара которой равна при заданном давлении температуре воды.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2488995

ГРУППОВАЯ АВТОПОИЛКА ДЛЯ ЖИВОТНЫХ

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Оренбургский государственный аграрный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011149282

Приоритет изобретения 02 декабря 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 августа 2013 г.

Срок действия патента истекает 02 декабря 2031 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19)RU

(11)2488995

(13)C1



(51) МПК

A01K7/06 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

Статус: по данным на 17.09.2015 - действует
Полная: уплачена за 4 года 03.12.2014 по 02.12.2015

(21), (22) Заявка: 2011149282/13,
02.12.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия
патента:
02.12.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.12.2011

(45) Опубликовано: 10.08.2013

(56) Список документов, цитированных в
отчете о
поиске: RU 2228026 C2, 10.05.2004. SU
858687 A1, 30.08.1981. RU 2160527 C1,
20.12.2000. US 5452683 A, 26.09.1995. US
5138980 A, 18.08.1992. RU 2013050 C1,
30.05.1994. RU 2057437 C1, 10.04.1996.

(72) Автор(ы):

Петько Виктор Гаврилович (RU),
Бибарсов Владимир Юрьевич (RU),
Фомин Максим Борисович (RU),
Нигматов Ленар Гамирович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Оренбургский государственный аграрный
университет" (RU)

Адрес для переписки:

460014, г.Оренбург, ул. Челюскинцев,
18, ФГБОУ ВПО ОГАУ

(54) ГРУППОВАЯ АВТОПОИЛКА ДЛЯ ЖИВОТНЫХ

(57) Реферат:

Групповая автопоилка для животных содержит поильную чашу (1), электронагреватель (8) с регулятором температуры (10) и регулятор уровня воды, например клапанно-поплавковый механизм (5). Автопоилка снабжена аккумуляющей емкостью (4), размещенной по уровню ниже поильной чаши, а также врезанным между поильной чашей и аккумуляющей емкостью плавающим электронасосом (3), связанным через устройство управления (13) с датчиками движения (12). Электронагреватель и регулятор уровня воды размещены в аккумуляющей емкости. Поильная чаша выполнена с возможностью перелива из нее воды в аккумуляющую емкость. В аккумуляющей емкости может быть размещен активатор (6) с приводом от ветроагрегата (7). Техническим результатом изобретения является снижение энергетических затрат на подогрев воды. 1 з.п. ф-лы, 1 ил.



Конкурс научных работ в области возобновляемых
источников энергии и энергоэффективности
на соискание стипендии для молодых ученых, студентов и аспирантов

2013/2014

ДИПЛОМ

награждается

Фомин Максим Борисович

(Оренбургский государственный аграрный университет, работа: «Обоснование режимно-конструктивных параметров
ветротеплоэнергетической установки для энергообеспечения автономных мелкофермерских предприятий»)

за III место

в Конкурсе научных работ в области возобновляемых источников энергии и энергоэффективности
для молодых учёных «Стипендия BELLONA» в 2013/2014 учебном году

Ответственный секретарь
жюри конкурса, к.э.н.
К.В. Вахрушева



Исполнительный директор
Экологического правозащитного
центра «Беллона»
А.И. Рыбаков

Член жюри конкурса,
научный редактор журнала
«Экология и право», профессор, д.б.н.
В.Ф. Левченко

Организатор:

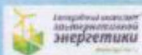
BELLONA

Экологический
правозащитный
центр «БЕЛЛОНА»

При поддержке:

**ЭКОЛОГИЯ
и право**

Общероссийский
журнал
«Экология и право»



Белгородский
институт альтернативной
энергетики



При реализации проекта используются средства государственной поддержки, выделенные в качестве гранта
в соответствии с распоряжением Президента Российской Федерации от 29.03.2013 № 115-рп и на основании конкурса,
проведенного Общероссийской общественной организацией «Российский Союз Молодежи»

191015 Санкт-Петербург, Суворовский пр. 59, лит. А

www.bellona.ru mail@bellona.ru тел.: (812) 275-77-61, факс: (812) 719-88-43



БЛАГОДАРСТВЕННОЕ ПИСЬМО

ВРУЧАЕТСЯ

Нигматову Ленару Гамировичу, Бибарсову Владимиру Юрьевичу,
Петько Виктору Гавриловичу, Фомину Максиму Борисовичу
Авторам проекта "Комплексная ветротеплоэнергетическая
установка для подогрева питьевой воды и группового
автоматического поения животных"

за активное участие в

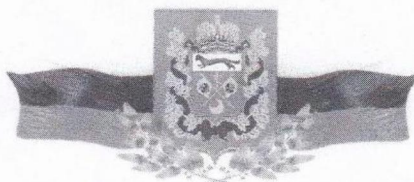
**ЯРМАРКЕ
ВЫСТАВКЕ**

УЧЕБНЫХ, РАБОЧИХ МЕСТ И МОЛОДЫХ ПРЕДПРИНИМАТЕЛЕЙ
"ТВОЙ ВЫБОР-ТВОИ ВОЗМОЖНОСТИ"

Глава администрации
города Оренбурга



Е.С. Арапов



ДИПЛОМ

победителя областной выставки
научно-технического творчества молодежи
«НТТМ-2012»
награждается

Нигматов Ленар Гамирович
Фомин Максим Борисович

ФГБОУ ВПО «Оренбургский государственный аграрный университет»

за проект

*«Солнечный тепловой коллектор с концентратором
световых лучей»*

руководитель: Петько Виктор Гаврилович

Министр образования
Оренбургской области



В.А. ЛАБУЗОВ

г. Оренбург
2012 г.



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ ОРЕНБУРГСКОЙ ОБЛАСТИ

ДИПЛОМ

победителя областной выставки
научно-технического творчества молодежи
«НТТМ»

награждается

Пугачёв Владимир Валерьевич, Петров Алексей Сергеевич
Балмугамбетова Алия Жакуповна, Фомин Максим Борисович
Чуйков Иван Алексеевич, Кононец Валерий Валерьевич
Шалева Мария Анатольевна, Пятков Иван Юрьевич
За проект

«Разработка, исследование и внедрение энергоэффективных средств
электрификации и автоматизации технологических процессов
сельскохозяйственного производства»

Научные руководители

Петько Виктор Гаврилович
Асманкин Евгений Михайлович
Рахимжанова Ильмира Агзамовна

В рамках выставки «Промэнерго»

Министр



В. А. ЛАБУЗОВ

г. Оренбург
2015 г.







Российская Федерация
Оренбургская область
Октябрьский район
СПК колхоз им. Кирова
Октябрьское ОСБ № 4228, с. Октябрьское
Оренбургского ОСБ № 8623, г. Оренбург
р/с 40702810246110100107
к/с 301018106000000000601
БИК 045354501
ОКОНХ 21210, ОКПО 03664522
ИНН 5637001058

АКТ

Внедрения в производство научно-технических разработок

Система подачи воды в стальную водонапорную башню, оборудованную дополнительным резервуаром для хранения воды подземного расположения и активатором циркуляционных потоков с приводом от ветроагрегата

Предложено ФГБОУ ВО Оренбургским государственным аграрным университетом и принято председателем СПК колхоз имени Кирова Октябрьского района решение о «Системе подачи воды в стальную водонапорную башню, оборудованную дополнительным резервуаром для хранения воды подземного расположения и активатором циркуляционных потоков с приводом от ветроагрегата» 05.10.2016 г.

Модернизированная система подачи воды в водонапорную башню, а так же дополнительная емкость с водой подземного хранения и активатор циркуляционных потоков с приводом от ветроагрегата установлены в октябре 2016 года. В процессе эксплуатации в зимний период года выходов из строя системы водоснабжения по причине обледенения башни не наблюдалось. Отказов в работе насоса по причине его работы не в номинальном режиме не зафиксировано.

Участвовали в испытаниях и внедрении Петько В.Г., Фомин М.Б., Бикбов М.А.

Члены комиссии:

Научные сотрудники:

Профессор, д.т.н.

Ст. преподаватель

Председатель колхоза

В.Г. Петько

М.Б. Фомин

М.А. Бикбов



СОГЛАСОВАННО

Проректор по научной работе
и международным отношениям,
профессор, д. с.-х. н.



Г.В. Петрова

12 2016 г.

УТВЕРЖДАЮ

Глава КФХ «Демченко Александр
Иванович» с. Дмитриевка,
Александровского района



А.И. Демченко

«23» 12 2016 г.

АКТ

Внедрения в производство научно-технических разработок

Настоящим актом подтверждается, что в период с 19.12.2016 г. по 23.12.2016 г. в КФХ «Демченко Александр Иванович» с. Дмитриевка, Александровского района Оренбургской области в соответствии с программой научных исследований ФГБОУ ВО Оренбургский ГАУ № AAA-A16-116060810025-6 Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ «Энергоэффективность и энергосбережение» проводилось исследование тепловых и механических характеристик лопастного активатора циркуляционных потоков в водонапорной башне с различными эксплуатационными режимами с целью оптимизации его конструкционных и геометрических параметров в соответствии генерируемой мощностью агрегатируемой ветроустановки.

В процессе эксплуатации в зимний период года модернизированной водонапорной башни с активатором циркуляционных потоков выходов из строя системы водоснабжения по причине обледенения башни не наблюдалось..

Участвовали в испытаниях и внедрении Петько В.Г., Фомин М.Б., Демченко А.И.

Члены комиссии:

Научные сотрудники:

Профессор

Ст. преподаватель

Глава КФХ «Демченко

Александр Иванович»

В.Г. Петько

М.Б. Фомин

А.И. Демченко