

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
(ФИЦ КНЦ РАН)

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор ФИЦ КНЦ РАН,  
академик РАН, д.г.-м.н.



*С.В. Кривовичев*

С.В. Кривовичев

«18» сентября 2023 г.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН)

Диссертация «Повышение эффективности систем теплоснабжения удаленных районов Арктической зоны путем внедрения энергокомплексов на базе ветроэнергетических установок (на примере Мурманской области)» выполнена в лаборатории «Энергосбережения и возобновляемых источников энергии».

В период подготовки диссертации соискатель Бежан Алексей Владимирович работал в ЦЭС КНЦ РАН в должности стажера-исследователя, инженера, ведущего инженера, младшего научного сотрудника, научного сотрудника лаборатории «Энергосбережения и возобновляемых источников энергии» (с 05.10.2005 г. по настоящее время).

В 2005 году Бежан А.В. окончил «Петрозаводский государственный университет» по специальности «Теплофизика», присуждена квалификация инженер.

Научный руководитель – Минин Валерий Андреевич, кандидат технических наук, заведующий лабораторией энергосбережения и возобновляемых источников энергии, заместитель директора по научной работе Центра физико-технических проблем энергетики Севера - филиала Федерального государственного бюджетного

учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук».

По итогам обсуждения диссертации Бежана А.В. «Повышение эффективности систем теплоснабжения удаленных районов Арктической зоны путем внедрения энергокомплексов на базе ветроэнергетических установок (на примере Мурманской области)» принято следующее заключение:

## 1. Актуальность

Для современной России важным условием стабильного развития и дальнейшего существования районов Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) является обеспечение комфортных условий проживания местного населения. Особая роль в этом процессе отведена системам теплоснабжения, надежная и бесперебойная работа которых сопряжена с различными проблемами. Особенно остро это проявляется в удаленных, труднодоступных и изолированных районах АЗРФ, где имеется множество потребителей тепловой энергии, испытывающих различные трудности с теплоснабжением. Прежде всего, это связано с суровыми природно-климатическими условиями, усложняющими доставку органического топлива в удаленные районы и являющимися причиной повышенных потребностей в тепловой энергии на протяжении продолжительного отопительного периода, достигающего в отдельных районах АЗРФ 8-10 месяцев в году и более. Вместе с этим удаленность потребителей от мест добычи органического топлива, конечная стоимость которого у потребителей может быть в несколько раз выше по сравнению с отпускной ценой у поставщиков, является основной причиной повышенных денежных расходов на покупку такого топлива и его завоз в удаленные районы. Такая ситуация приводит к тому, что себестоимость тепловой энергии оказывается больше уровня тарифов, в результате чего деятельность теплоснабжающих организаций получается убыточной, и поэтому государство вынуждено субсидировать покупку и завоз органического топлива в удаленные районы АЗРФ. Также использование источников тепловой энергии, работающих на органическом топливе, оказывает негативное воздействие на окружающую природную среду. Всё это вызывает необходимость в поиске путей, направленных на энергосбережение и повышение энергетической эффективности теплоснабжения. В качестве отдельного направления энергосбережения можно рассматривать развитие и вовлечение в производство тепла местных возобновляемых источников энергии, в том числе энергии ветра.

В районах АЗРФ с повышенным потенциалом ветра имеется возможность использования ветроэнергетических установок (ВЭУ) совместно с котельными, работающими на органическом топливе, на нужды теплоснабжения. Одним из таких районов является Мурманская область, которая расположена в северо-западной части АЗРФ. Наибольшие среднегодовые скорости ветра в Мурманской области наблюдаются в прибрежных районах Баренцева и Белого морей и составляют 5-8 м/с на высоте 10 метров от поверхности земли. При этом наибольшие значения скорости ветра отмечаются в зимнее время, когда и существует наибольшая потребность в тепловой энергии. В целом можно констатировать, что в Мурманской области складываются благоприятные условия

для эффективного использования энергии ветра на нужды теплоснабжения для широкого круга удаленных потребителей тепловой энергии.

Таким образом, актуальность диссертационной работы определяется современным состоянием развития теплоснабжения и связанной с этим необходимостью решения проблемы энергосбережения и повышения энергетической эффективности систем теплоснабжения, в том числе с привлечением энергии ветра для широкого круга удаленных и изолированных потребителей АЗРФ.

Работа по теме диссертационного исследования частично проводилась в рамках проекта РФФИ № 09-08-00210. Положения и некоторые выводы диссертации докладывались на заседаниях ученого совета в ЦЭС КНЦ РАН, включались в отчёты о научно-исследовательской работе ЦЭС КНЦ РАН.

## **2. Научная новизна результатов работы**

Научная новизна характеризуется тем, что были получены следующие результаты:

1. Для районов с повышенным потенциалом ветра и продолжительным отопительным сезоном сформулирован и определен вариант эффективного построения современных систем теплоснабжения с привлечением энергии ветра в качестве дополнительного источника тепловой энергии, позволяющий рассматривать применение комплекса «ВЭУ + ТА» как топливосберегающую технологию.

2. Разработана математическая модель системы теплоснабжения, где источниками тепловой энергии являются котельная и комплекс, состоящий из ВЭУ и ТА. Модель представляет собой математический инструмент для расчета и анализа различных режимов работы котельной совместно с ВЭУ в зависимости от различных исходных климатических данных, определения рациональной структуры системы теплоснабжения с участием ВЭУ, определения возможных объемов экономии органического топлива.

3. Разработаны математические модели водяных аккумуляторов тепла кубической и цилиндрической форм, работающие в комплексе с ветроэнергетической установкой, позволяющие проводить вычислительный эксперимент, моделировать и исследовать процессы зарядки, разрядки и ожидания тепловой нагрузки этих аккумуляторов. Модели позволяют определить время зарядки и разрядки, и выходную температуру воды ТА.

4. Разработан и математически описан методический подход к определению температуры воздуха внутри зданий, теплоснабжение которых обеспечивается энергокомплексом «котельная + ВЭУ».

## **3. Теоретическая и практическая значимость полученных результатов**

К наиболее значимым следует отнести следующие результаты исследований:

1. Для районов с повышенным потенциалом ветра и продолжительным отопительным сезоном вариант модернизации и построения современных систем теплоснабжения за счет вовлечения энергии ветра в отопительный процесс может найти своё практическое применение в качестве топливосберегающей технологии.

2. Разработанные математические модели системы теплоснабжения и водяных аккумуляторов тепла, а также принципы их построения могут быть использованы при проектировании современных систем теплоснабжения, что позволит прогнозировать и моделировать реальную картину теплоснабжения с точки зрения функциональности процессов, происходящих во время производства и потребления тепловой энергии, исследовать поведение водяных тепловых аккумуляторов в тепловых системах коммунального и технологического назначения, а также проводить различные вычислительные эксперименты и комплексный анализ теплоснабжения, что, несомненно, может представлять практический интерес для теплоэнергетиков и специалистов в области теплоснабжения.

#### ✓ 4. Личное участие автора в получении научных результатов, изложенных в диссертации

Бежан А.В. разработал математическую модель и выполнил большой объем длительных и трудоемких расчетов энергетической эффективности системы теплоснабжения, где источниками тепловой энергии являются котельная и ВЭУ соизмеримой мощности, с учетом изменения климатических факторов. Также Бежан А.В. разработал математическую модель здания как аккумулятора тепла большой емкости для оценки изменения температуры внутреннего воздуха в зависимости от режимов работы котельной и ВЭУ. Выполнил технико-экономическую оценку перспектив внедрения ВЭУ совместно с котельными в системы теплоснабжения удаленных районов Мурманской области.

#### ✓ 5. Степень достоверности результатов проведенных исследований

Достоверность и обоснованность полученных результатов работы обеспечиваются применением достаточно полных математических моделей исследуемых процессов, а также подтверждаются корректностью постановки исследуемых задач, хорошим совпадением результатов математического моделирования с данными экспериментального наблюдения, а также довольно широкой публикацией результатов и их обсуждением на международных и российских конференциях.

#### 6. Соответствие диссертации научной специальности

По тематике и методам исследования диссертационная работа соответствует паспорту специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы» в части:

■ п. 2 - Математическое моделирование, численные и натурные исследования физико-химических и рабочих процессов, протекающих в энергетических системах и установках на органическом и альтернативных топливах и возобновляемых видах энергии, их основном и вспомогательном оборудовании и общем технологическом цикле производства электрической и тепловой энергии.

■ п. 5 - Разработки и исследования в области энергосбережения и ресурсосбережения при производстве тепловой и электрической энергии, при

транспортировке тепловой, электрической энергии и энергоносителей в энергетических системах и комплексах.

■ п. 6 - Теоретический анализ, экспериментальные исследования, физическое и математическое моделирование, проектирование энергоустановок, электростанций и энергетических комплексов, функционирующих на основе преобразования возобновляемых видов энергии (энергии водных потоков, солнечной энергии, энергии ветра, энергии биомассы, энергии тепла земли и других видов возобновляемой энергии) с целью исследования и оптимизации их параметров, режимов работы, экономии ископаемых видов топлива и решения проблем экологического и социально-экономического характера.

■ п. 7 - Исследование влияния технических решений, принимаемых при создании и эксплуатации энергетических систем, комплексов и установок на их финансово-экономические и инвестиционные показатели, региональную экономику и экономику природопользования.

#### ✓ 7. Полнота изложения результатов диссертации в работах, опубликованных автором

По теме диссертационной работы опубликовано 19 печатных работ, в том числе 3 статьи в изданиях, индексируемых в международной базе Scopus, 7 статей в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК РФ. Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

*Публикации в рецензируемых научных изданиях, индексируемых в международной базе данных SCOPUS:*

1. Бежан, А.В. Повышение эффективности систем теплоснабжения за счет внедрения ветроэнергетических установок / А.В. Бежан // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. - 2020. - Т. 63. - № 3. - С. 285-296. DOI: <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2020-63-3-285-296>

2. Bezhan, A.V. Experience and prospects for the wind power plants constructing in the north western part of the Euro-Arctic region of Russia / A.V Bezhan // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2020. – V. 539. – P. 012145.

3. Bezhan, A.V. Evaluation of expediency of using wind energy for heat supply on the Barents sea coast of Russia / A.V. Bezhan // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, Russia. - 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/FarEastCon50210.2020.9271641>

*Публикации в рецензируемых научных журналах, входящих в перечень ВАК:*

1. Бежан, А.В. Снижение себестоимости тепловой энергии за счет использования ветроэнергетических установок совместно с котельными на нужды теплоснабжения в удаленных районах арктической зоны Российской Федерации (на примере Мурманской области) / А.В. Бежан, Ю.Н. Звонарева, Р.А. Пономарев // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. - 2023. - № 25(3). - С. 128-138.

2. Бежан, А.В. Повышение энергоэффективности систем теплоснабжения путем применения ветроэнергетических установок в Арктическом регионе России / А.В. Бежан // Промышленная энергетика. – 2018. - № 10. – С. 37-40.

3. Бежан, А.В. Оценка эффективности системы теплоснабжения на основе котельной и ветроустановки в условиях Севера / А.В. Бежан, В.А. Минин // Теплоэнергетика. – 2017. - №3. – С. 51-60.

4. Бежан, А.В. Ветроэнергетика Мурманской области / А.В. Бежан // Электрические станции. – 2017. - № 7. - С. 51-55.

5. Бежан, А.В. Математическое описание водяного аккумулятора тепла кубической формы / А.В. Бежан // Энергосбережение и водоподготовка. - 2017. - № 6 (110). - С. 59-64.

6. Бежан, А.В. Математическое описание работы котельной совместно с ветроэнергетической установкой и тепловым аккумулятором / А.В. Бежан, В.А. Минин // Теплоэнергетика. – 2011. - № 11. – С.21-26.

7. Минин, В.А. Теплоснабжение зданий с участием ветроэнергетических установок / В.А. Минин, А.В. Бежан // Энергосбережение и водоподготовка. - 2009. - № 2(58). - С. 17-21.

*Публикации в изданиях, включенных в РИНЦ:*

1. Бежан, А.В. Комбинированное применение котельных и ветроэнергетических установок для теплоснабжения жилых районов Арктической зоны РФ / А.В. Бежан // Энергия: экономика, техника, экология. – 2019. - № 12. – С. 54 - 58.

2. Минин, В.А. Возможные направления интеграции возобновляемых источников энергии в энергетическое хозяйство Мурманской области / В.А. Минин, А.А. Рожкова, А.В. Бежан // Вестник Кольского научного центра РАН. - 2019. - Т. 11. - № 3. - С. 124-133.

3. Бежан, А.В. Повышение экономической эффективности систем теплоснабжения за счёт применения ветроэнергетических установок в регионах Арктической зоны РФ / А.В. Бежан // Труды КНЦ РАН. Энергетика. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2018. - № 3. – С. 140-146.

4. Бежан, А.В. Региональный опыт использования ветроэнергетических установок в Мурманской области / А.В. Бежан // Возобновляемые источники энергии: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием и XI научной молодёжной школы: 3-6 декабря 2018 года, Москва. – М.: МАКС Пресс, 2018. – С. 209–213.

5. Бежан, А.В. Математическое описание водяного аккумулятора тепла цилиндрической формы / А.В. Бежан // Труды КНЦ РАН. Энергетика. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2016. - № 5. – С. 55-62.

6. Бежан, А.В. Моделирование режимов работы теплового аккумулятора / А.В. Бежан // Труды КНЦ РАН. Энергетика. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2015. - № 8. – С. 90-95.

7. Бежан, А.В. Математическое моделирование комплекса, состоящего из котельной, ветроустановки и теплового аккумулятора / А.В. Бежан // Труды КНЦ РАН. Энергетика. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2012. - № 8. – С. 123-128.

8. Бежан, А.В. Оценка перспектив использования энергии ветра для теплоснабжения посёлка Териберка / А.В. Бежан, В.А. Минин // Труды КНЦ РАН. Энергетика. – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2011. - № 5. – С. 205-213.

### *Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ:*

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2023664293 Российская Федерация. Программа для расчета зависимости параметров теплового аккумулятора по времени / А.В. Бежан, Ю.В. Ваньков, Т.Р. Абдуллин, Е.В. Измайлова; заявл. №2023662820, 21.06.2023; опубл. 03.07.2023. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 03.07.2023.

## **8. Апробация работы**

Основные положения работы, результаты теоретических и расчетных исследования были представлены на следующих международных и российских научно-практических и научно-технических конференциях:

Международная мультидисциплинарная конференция по промышленному инжинирингу и современным технологиям «FarEastCon-2020» Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, 2020 г.; V Международная научная конференция «Арктика: история и современность» СПбПУ, Санкт-Петербург 2020 г.; VII, VIII Всероссийская научная молодежная школа с международным участием «Возобновляемые источники энергии» МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва 2010, 2012 гг.; Всероссийская научная конференция с международным участием и IX, X, XI научная молодёжная школа «Возобновляемые источники энергии» МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва 2014, 2016, 2018 гг.; Всероссийская научная конференция студентов-физиков и молодых ученых 2009 – 2013 и 2015 - 2017 гг., соответственно Кемерово-Томск, Волгоград, Екатеринбург, Красноярск, Архангельск, Омск, Ростов-на-Дону, Екатеринбург; Международный Конгресс «Дни чистой энергии в Петербурге» в рамках форума по возобновляемой энергетике на Северо-западе России, Санкт – Петербург 2010 г.; VI (XXXVIII) Международная научно-практическая конференция «Образование, наука, инновации - вклад молодых исследователей» Кемеровский госуниверситет, Кемерово, 2011 г.; II Всероссийская научно-практическая конференция «Морская стратегия России и экономическая деятельность в Арктике», Мурманск 2008 г.

## **9. Характер результатов**

Характер результатов соответствует п. 9 Положения о присуждении ученых степеней ВАК Министерства образования и науки РФ.

## **10. Выводы**

Диссертация «Повышение эффективности систем теплоснабжения удаленных районов Арктической зоны путем внедрения энергокомплексов на базе ветроэнергетических установок (на примере Мурманской области)» является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение задач, связанных с повышением эффективности систем теплоснабжения удаленных районов Арктической зоны Российской Федерации путем использования ветроэнергетических установок совместно с котельными на нужды теплоснабжения.

Диссертация Бежана А.В. обобщает самостоятельные исследования автора, обладает внутренним единством, организация материала имеет логическую последовательность, изложена на достаточно высоком теоретическом уровне, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые на защиту, свидетельствует о личном вкладе автора в науку. При выполнении диссертации Бежан А.В. сформировался как научный сотрудник, имеющий высокий уровень профессиональной грамотности. Он проявил интерес и склонности к проведению исследовательской работы по проблемам надежного и эффективного теплоснабжения потребителей в специфических условиях Севера. Умеет самостоятельно ставить и решать сложные исследовательские задачи.

Работа соответствует критериям Положения о присуждении ученых степеней, принятого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, с изменениями, принятыми Постановлением Правительства Российской Федерации от 26 января 2023 г., предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Диссертация «Повышение эффективности систем теплоснабжения удаленных районов Арктической зоны путем внедрения энергокомплексов на базе ветроэнергетических установок (на примере Мурманской области)» Бежана Алексея Владимировича рекомендуется к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5 – «Энергетические системы и комплексы».

Заключение принято на заседании Ученого совета Центра физико-технических проблем энергетики Севера – филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук».

Присутствовало на заседании 7 чел. Результаты голосования: «за» – 7 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол №7 заседания Ученого совета от 18.09. 2023 г.

Председатель Совета,  
канд. техн. наук,  
директор ЦЭС КНЦ РАН

В.Н. Селиванов

Секретарь Совета,  
Ученый секретарь ЦЭС КНЦ РАН

В.В. Ивонин

Подпись Селиванов В.Н. Ивонин В.В.  
по месту работы удостоверяю  
Зав. канцелярией А.В. Зингерова  
Центр физико-технических проблем энергетики Севера  
филиал Федерального государственного бюджетного  
учреждения науки Федерального исследовательского центра  
«Кольский научный центр Российской академии наук»  
18 сентября 2023 г.