

**Алгоритмизация и программная реализация подбора параметров работы насосного оборудования в системах водяного отопления жилых зданий**

**Д.Ф. Карпов<sup>1</sup>, М.В. Павлов<sup>1</sup>, Е.В. Абрамова<sup>2,3</sup>, Е.А. Разумнова<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Вологодский государственный университет,

<sup>1</sup>160000, г. Вологда, ул. Ленина, 15, Россия,

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский институт),

<sup>2</sup>105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, Россия,

<sup>3</sup>Научно-исследовательский институт строительной физики  
Российской академии архитектуры и строительных наук,

<sup>3</sup>127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21, Россия,

<sup>4</sup>Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,

<sup>4</sup>190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., 4, Россия

**Резюме. Цель.** Цель исследования состоит в разработке и программной реализации алгоритмов инженерных расчетов, предназначенных для автоматизированного определения параметров смесительных, водоструйных и циркуляционных насосов, применяемых в системах водяного отопления жилых зданий. **Метод.** Методологической основой исследования являются нормативные положения в области отопления и теплоснабжения, уравнение теплового баланса и принципы гидравлического расчета систем отопления. Алгоритмы реализованы в виде трех взаимосвязанных программных модулей, структурированных по блочно-логической схеме: ввод исходных данных, теплотехнический и гидравлический расчеты, вывод параметров для подбора насосов. Расчеты выполняются с учетом установившегося теплового режима, параметров наружного и внутреннего воздуха, гидравлических потерь в системе и конструктивных особенностей насосного оборудования. **Результат.** Разработаны три специализированные программы для подбора параметров работы смесительного, водоструйного и циркуляционного насосов, применяемых в системах водяного отопления жилых зданий. Обеспечено автоматизированное определение исходных и расчетных параметров, включая максимальную тепловую нагрузку, массовый расход теплоносителя, коэффициент смешения потоков, гидравлический напор, геометрические характеристики. Представлена структура каждого программного модуля с обоснованием входных, промежуточных расчетных данных в виде листинга и выходных характеристик. **Вывод.** Разработанные алгоритмы позволяют упростить и ускорить процедуру подбора параметров работы насосного оборудования, а также минимизировать погрешности при инженерных расчетах. Предложенные программные средства обеспечивают соответствие проектных решений действующим нормативным требованиям и учитывают, как наружные и внутренние климатические условия, так и эксплуатационные характеристики зданий; позволяют адаптировать алгоритмы расчета под различные условия теплоснабжения, включая независимое присоединение и замыкающие участки систем. Автоматизация расчетов способствует интенсификации проектных работ и может быть интегрирована в системы САПР и BIM-технологии.

**Ключевые слова:** система водяного отопления, смесительный, водоструйный и циркуляционный насосы, гидравлический напор, максимальная тепловая нагрузка, расход теплоносителя, коэффициент смешения потоков, тепловой баланс, параметры

**Для цитирования:** Д.Ф. Карпов, М.В. Павлов, Е.В. Абрамова, Е.А. Разумнова. Алгоритмизация и программная реализация подбора параметров работы насосного оборудования в системах водяного отопления жилых зданий. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2025;52(3):199-211. DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-3-199-211

**Algorithmization and software implementation for selecting operating parameters of pumping equipment in hydronic heating systems of residential buildings**

**D.F. Karpov<sup>1</sup>, M.V. Pavlov<sup>1</sup>, E.V. Abramova<sup>2,3</sup>, E.A. Razumnova<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Vologda State University,

<sup>1</sup>15 Lenin Str., Vologda 160000, Russia,

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University (National Research Institute),

<sup>2</sup>5 2nd Baumanskaya Str., Moscow 105005, Russia,

<sup>3</sup>Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences,

<sup>3</sup>21 Locomotive Str., Moscow 127238, Russia,

<sup>4</sup>Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,

<sup>4</sup>4, 2nd Krasnoarmeiskaya Str., Saint Petersburg 190005, Russia

**Abstract. Objective.** The aim of the study is to develop and implement software algorithms for engineering calculations designed for the automated determination of the parameters of mixing, water-jet and circulation pumps used in water heating systems of residential buildings. **Method.** The methodological foundation of the study is based on regulatory provisions in the fields of heating and heat supply, the heat balance equation, and the principles of hydraulic calculation for heating systems. The algorithms are implemented as three interrelated software modules, structured according to a block-logical scheme: input of initial data, thermal and hydraulic calculations, and output of parameters for pump selection. The calculations are performed with consideration of the steady-state thermal regime, outdoor and indoor air parameters, hydraulic losses in the system, and the design features of the pumping equipment. **Result.** Three specialized software programs have been developed for selecting the operating parameters of mixing, jet, and circulation pumps used in hydronic heating systems of residential buildings. The automated determination of input and calculated parameters is provided, including maximum thermal load, mass flow rate of the heat carrier, flow mixing ratio, hydraulic head, and geometric characteristics. The structure of each software module is presented, with justification of the input data, intermediate computational results in the form of listings, and output parameters. **Conclusion.** Algorithms simplify and accelerate the process of selecting pumping equipment operating parameters and minimize errors in engineering calculations. The software ensures that design solutions comply with regulatory requirements and takes into account external and internal climatic conditions and building performance characteristics. They also allow calculation algorithms to be adapted to heating supply conditions, including independent connections and closing sections of systems. Automated calculations facilitate the intensification of design work and are integrated into CAD and BIM technologies.

**Keywords:** hydronic heating system, mixing, water-jet and circulation pumps, hydraulic head, peak heat load, heat carrier flow rate, flow mixing ratio, heat balance, parameters

**For citation:** D.F. Karpov, M.V. Pavlov, E.V. Abramova, E.A. Razumnova. Algorithmization and software implementation for selecting operating parameters of pumping equipment in hydronic heating systems of residential buildings. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2025;52(3):199-211. (In Russ) DOI:10.21822/2073-6185-2025-52-3-199-211

**Введение.** Повышение требований к энергоэффективности и устойчивой работе инженерных систем в жилых зданиях актуализирует задачу точного расчета насосного оборудования в системах водяного отопления [1-3]. Эффективность теплоснабжения во многом зависит от надежной работы смесительных, водоструйных и циркуляционных насосов [4-7]. Это оказывает прямое влияние на поддержание оптимальных параметров микроклимата и уменьшение эксплуатационных расходов [8-11]. В практике проектирования и эксплуатации особенно важным становится обеспечение соответствия гидравлических и теплотехнических характеристик системы реальным условиям ее функционирования [12-15]. Расчет параметров насосов требует учета климатических факторов, характеристик теплоносителя, тепловой нагрузки здания и сопротивления отдельных участков системы [16-18]. В этой

связи возрастает потребность в цифровых инженерных инструментах, способных автоматизировать процесс расчетов и снизить вероятность ошибок [19-22]. Разработка специализированного программного обеспечения, ориентированного на комплексную обработку исходных данных и выдачу параметров для подбора насосного оборудования, представляет собой эффективное решение данной задачи [23-26]. Такие программные продукты имеют высокую практическую значимость и могут применяться как в проектной деятельности, так и в условиях эксплуатации [27].

В исследованиях [4-11] подробно рассмотрены современные подходы к повышению энергоэффективности водяных систем отопления жилых зданий за счет оптимизации работы насосного оборудования и устранения теплогидравлических дисбалансов. Особое внимание уделено применению струйных и смесительных насосов, обеспечивающих адаптивное регулирование теплоподдачи, снижение тепловых потерь и устойчивую работу системы при переменных внешних условиях. Представлены технические решения по установке регулируемых насосов, выбору оптимальных параметров циркуляционного оборудования и использованию численного моделирования (CFD) для анализа внутренних потоков и повышения точности проектирования. Результаты натурных и численных исследований подтвердили значительный потенциал энергосбережения – снижение энергопотребления достигало 20-50 % без ухудшения параметров микроклимата помещений. Проведенные технико-экономические оценки позволяют обоснованно выбирать эффективные схемы отопления и параметры насосного оборудования.

В работе [4] авторы предлагают вариант повышения энергоэффективности систем отопления жилых зданий за счет совместного регулирования насосов и клапанов с учетом зонального теплового комфорта. На основе расчета оптимальных тепловых нагрузок, гидравлических характеристик и режима частотного управления, проведен пересмотр параметров насосных агрегатов. Применение метода в жилом доме показало снижение энергопотребления на 38 %, тепловой нагрузки – на 33 %, а эксплуатационных расходов – на 32 %, что демонстрирует высокий потенциал метода. Исследователями в [5] рассмотрены современные решения по автоматизации водяных систем отопления, в частности схемы с использованием смесительного насоса для регулирования температуры теплоносителя. Применение смесительного насоса в сочетании с трехходовым клапаном позволяет точно поддерживать заданный тепловой режим за счет перемешивания обратного и подающего потоков в зависимости от внешних погодных условий. Такие схемы автоматизации обеспечивают стабильную работу отопительной системы, снижают тепловые потери и повышают энергоэффективность за счет адаптивного управления теплоподачей.

Авторами в [6] рассмотрена проблема теплового и гидравлического дисбаланса в традиционных системах отопления, приводящая к значительным энергетическим потерям. Предложено использование водоструйного насоса, способного эффективно перераспределять тепловую нагрузку между потребителями без увеличения расхода циркуляционной воды. Результаты полевого внедрения показали сокращение потребления электроэнергии в среднем на 20,24 % и тепловой энергии – на 12,52 %, что подтверждает высокий потенциал энергосбережения при реализации данной технологии. В исследовании [7] выделяют возрастающее значение струйных насосов в системах теплоснабжения как энергоэффективного элемента. На примере тепловой сети города *Jinan* (Китайская Народная Республика) показана экономическая эффективность и энергосберегающий потенциал данной технологии. Результаты подтверждают целесообразность широкого внедрения струйных насосов в городские отопительные системы.

В статье [8] авторы предлагают применение регулируемых струйных насосов для модернизации тепловых сетей в условиях стремительного роста городской застройки и увеличения удельного потребления энергии в зданиях. Такая инновация позволяет снизить потери теплоты, сократить энергопотребление (до 30-50 %) и повысить стабильность водоснабжения. Инженерный анализ показал, что новая система на базе регулируемых струйных насосов обеспечивает значительную экономию энергии без ущерба для теплового

комфорта потребителей. В [9] для устранения гидравлического дисбаланса и потерь в традиционных системах отопления исследователи рассматривают вариант установки струйных насосов на вводе в здание для формирования зоны пониженного давления и смешивания обратной воды с подающей. Это решение способствует снижению расхода воды, увеличению температурного перепада и сокращению перегревов. В результате достигается гидравлическая сбалансированность системы и повышение ее энергоэффективности. Исследование [10] посвящено *CFD*-моделированию внутреннего потока в струйных насосах с использованием уравнений *RANS* и моделей турбулентности *k-ε* и *k-ω SST*. Проведена верификация расчетов по сравнению с экспериментальными данными, показавшая высокую точность: средняя относительная ошибка составила 7,3-8,47 % по эффективности насоса и до 3,21 % по коэффициенту давления. Результаты подтвердили возможность точного численного анализа струйных насосов и показали смещение зоны смешения потоков при увеличении расхода, что соответствует экспериментальным наблюдениям.

Работа [11] содержит сравнительный анализ различных горизонтальных систем водяного отопления, при котором особое внимание уделено подбору циркуляционных насосов в зависимости от требуемого напора и расхода теплоносителя. На основании гидравлического расчета для каждой схемы отопления определены параметры насосного оборудования, обеспечивающего эффективную циркуляцию теплоносителя и поддержание заданных тепловых режимов в помещениях. Полученные данные использованы для технико-экономической оценки, позволившей определить оптимальную конфигурацию системы отопления с учетом как энергозатрат, так и надежности циркуляционного насоса.

Таким образом, актуальность точного инженерного расчета насосного оборудования в водяных системах отопления жилых зданий в контексте требований к энергоэффективности и устойчивости эксплуатации является очевидной. Анализ литературных источников и инженерных практик позволил установить значительное влияние параметров смесительных, водоструйных и циркуляционных насосов на качество теплоснабжения, снижение энергетических потерь и эксплуатационных затрат. Выявлена потребность в специализированных программных средствах, автоматизирующих расчет с учетом теплотехнических и гидравлических характеристик. Рассмотрены преимущества применения регулируемых насосов, в том числе в сочетании с погодозависимой автоматикой, а также потенциал использования *CFD*-моделирования для повышения точности проектирования.

**Постановка задачи.** Цель исследования состоит в разработке и программной реализации алгоритмов инженерных расчетов, предназначенных для автоматизированного определения параметров смесительных, водоструйных и циркуляционных насосов, применяемых в системах водяного отопления жилых зданий. Задачи исследования:

1. Разработать единую методологию и алгоритмы расчета исходных параметров для подбора смесительного, водоструйного и циркуляционного насосов, основанные на учете строительного объема отапливаемой части здания, климатических условий региона, температурных и гидравлических характеристик теплоносителя.
2. Разработать архитектуру программных модулей для подбора параметров работы трех типов насосов с реализацией автоматизированной обработки исходных и расчетных данных.
3. Получить расчетные значения производительности и требуемого гидравлического напора для трех типов насосов с применением типовых входных данных и оценить работоспособность разработанных программных решений.

Объект исследования – насосное оборудование системы водяного отопления жилого здания, функционирующей в условиях централизованного или автономного теплоснабжения. Предмет исследования – методологические и программные решения, обеспечивающие расчет и подбор насосного оборудования с учетом тепловой нагрузки, параметров теплоносителя и гидравлических характеристик системы водяного отопления.

**Методы исследования.** Исследование основывается на разработке и алгоритмизации расчетных процедур, применяемых при инженерном обосновании выбора параметров

работы насосного оборудования в системах водяного отопления жилых зданий (рис. 1). Методология построена по модульному принципу и опирается на поэтапную обработку исходных и расчетных данных, реализуемую в программной среде. Для каждой разработанной программы использованы структурно идентичные логические блоки, обеспечивающие целостность и воспроизводимость вычислительного процесса.



Рис. 1 - Объекты исследования – насосное оборудование систем водяного отопления гражданских зданий (информация из открытых веб-ресурсов)

Fig. 1 - Research objects – pumping equipment of hydronic heating systems in civil buildings (information from open web resources)

Концепция методологии расчета и подбора параметров работы насосного оборудования в системах водяного отопления жилых зданий. Универсальная структура расчета основана на модульной архитектуре программ, состоящей из трех взаимосвязанных блоков: блока ввода исходных данных, блока автоматизированных расчетов и блока формирования выходных параметров. На первом этапе задаются граничные условия системы – строительные, климатические и теплотехнические характеристики. На втором этапе реализуется автоматизированная оценка тепловой нагрузки и параметров теплоносителя на основе энергетического баланса. Заключительный этап предусматривает формирование итоговых параметров, необходимых для корректного подбора насосного оборудования соответствующего типа. Такая методология обеспечивает воспроизводимость вычислений, адаптируемость к различным типам систем и практическую применимость в инженерной деятельности.

Концепция программного расчета и подбора параметров работы смесительного насоса системы водяного отопления жилого здания. Исходной точкой расчета является Блок 1, в котором осуществляется ввод строительного объема отапливаемой части здания, параметров наружного воздуха, температур теплоносителя и значений потерь давления в системе. На основе этих данных в Блоке 2 автоматически определяется усредненная температура внутреннего воздуха, рассчитывается максимальная тепловая нагрузка здания, массовый расход теплоносителя, а также коэффициент смешения потоков. В Блоке 3 производится итоговое формирование параметров для подбора смесительного насоса – производительности и требуемого гидравлического напора.

Концепция программного расчета и подбора параметров работы водоструйного насоса системы водяного отопления жилого здания. Процедура расчета начинается с Блока 1, в котором формируется массив исходных данных: строительный объем, параметры наружного воздуха, температурные характеристики теплоносителя, потери давления в системе и пьезометрический напор перед водоструйным насосом. Блок 2 выполняет автоматическое определение усредненной внутренней температуры, расчет тепловой нагрузки, массового расхода теплоносителя и коэффициента смешения. Блок 3 выдает необходимые геометрические параметры водоструйного насоса – минимальный напор, диаметр горловины и сопла.

Концепция программного расчета и подбора параметров работы циркуляционного насоса системы водяного отопления жилого здания. Блок 1 содержит ввод исходных данных, включая строительный объем, параметры наружного воздуха, температуры теплоносителя и значения потерь давления в теплообменнике и системе. В Блоке 2 автоматически рассчитываются: усредненная температура внутреннего воздуха, тепловая нагрузка, максимальный расход теплоносителя и его плотность на участке циркуляции. Блок 3 формирует ключевые параметры циркуляционного насоса – массовую и объемную производительности, а также необходимый гидравлический напор. Языком программирования разработанных цифровых продуктов является *Visual Basic for Applications (VBA)*, а средой реализации

– *Microsoft Excel*. Ключевые этапы работы, характеризующие методы исследования, представлены в табл. 1.

**Таблица 1. Основные этапы программного подбора параметров работы насосного оборудования в системах водяного отопления жилых зданий**

**Table 1. Main stages of the software-based selection of operating parameters for pumping equipment in hydronic heating systems of residential buildings**

| № No. | Наименование этапа работы Stage title                                                                                                                               | Описание этапа работы Stage description                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.    | Формирование методологической основы расчетных процедур.<br>Development of the methodological framework for calculation procedures.                                 | На начальном этапе разработана единая методология расчетов насосного оборудования, предназначенная для инженерного обоснования параметров различных типов насосов, применяемых в системах водяного отопления жилых зданий. Методологический подход построен на модульном принципе и ориентирован на последовательную обработку исходных и расчетных данных, с обеспечением адаптивности к различным конфигурациям отопительных систем. Особое внимание уделено обеспечению целостности и воспроизводимости вычислительных процедур.           |
| 2.    | Архитектурное моделирование программных решений.<br>Architectural modeling of software solutions.                                                                   | Разработана универсальная структура расчетных алгоритмов на основе модульной архитектуры, включающей три функционально взаимосвязанных блока: блок ввода исходных данных, блок автоматизированных расчетов и блок формирования выходных параметров. Архитектура проектировалась с акцентом на обеспечение масштабируемости, прозрачности логических связей и упрощения адаптации алгоритмов к различным инженерным задачам.                                                                                                                   |
| 3.    | Алгоритмизация расчетных процедур для различных типов насосного оборудования.<br>Algorithmization of calculation procedures for various types of pumping equipment. | В рамках данного этапа выполнена алгоритмизация инженерных расчетов для трех типов насосов: смесительного, водоструйного и циркуляционного. Для каждого типа разработаны специализированные логические блоки, обеспечивающие автоматизированное определение ключевых параметров – тепловой нагрузки, массового расхода теплоносителя, коэффициентов смешения, геометрических и гидравлических характеристик оборудования. Алгоритмы учитывают как внешние граничные условия (климатические, строительные), так и внутренние параметры систем. |
| 4.    | Программная реализация расчетных алгоритмов.<br>Software implementation of calculation algorithms.                                                                  | На основе сформированных алгоритмов осуществлена программная реализация трех расчетных модулей в среде <i>Microsoft Excel</i> с использованием языка <i>VBA</i> . Каждый программный продукт реализует модульную логику, соответствующую описанной архитектуре, с автоматизированной обработкой входных данных и формированием выходных параметров, необходимых для корректного подбора оборудования. Программы протестированы на предмет стабильности, воспроизводимости и корректности расчетов.                                            |
| 5.    | Верификация и оценка инженерной применимости программных решений.<br>Verification and assessment of the engineering applicability of software solutions.            | Заключительный этап включал верификацию разработанных программных средств путем сопоставления расчетных результатов с нормативными данными и инженерными методиками, используемыми на практике. Проведен анализ воспроизводимости результатов и универсальности методики в контексте различных конфигураций систем водяного отопления. Подтверждена практическая применимость разработанных программных решений в проектной и эксплуатационной деятельности.                                                                                  |

**Обсуждение результатов.** Представлены результаты и анализ разработанных программных решений для автоматизированного подбора параметров работы различных типов насосов, используемых в системах водяного отопления жилых зданий. Созданы три программных модуля, каждый из которых предназначен для подбора конкретного вида насосного оборудования: смесительного, водоструйного и циркуляционного. Алгоритмы расчета учитывают ключевые параметры, такие как строительный объем отапливаемой части здания, климатические условия региона и характеристики теплоносителя, что позволяет получать необходимые гидравлические и тепловые характеристики насосов с высокой степенью точности.

Приведем описание функциональных возможностей разработанного программного обеспечения и результаты их компьютерной реализации, подтверждающие эффективность предложенного исследования. Программа для расчета параметров смесительного насоса системы водяного отопления жилого здания [28]. Программное обеспечение предназначено для определения исходных параметров при подборе смесительного насоса, устанавливаемого на перемычке между подающим и обратным трубопроводами системы водяного отопления жилого здания. Программный расчет позволяет по известному строительному объему

отопливаемой части жилого здания, климатическим условиям региона строительства и расчетным параметрам теплоносителя находить требуемую производительность и необходимый гидравлический напор смесительного насоса в системе водяного отопления жилого здания. Листинг (текст программы) представлен в табл. 2.

**Таблица 2. Листинг программы для расчета и подбора параметров работы смесительного насоса системы водяного отопления жилого здания**

**Table 2. Program listing for the calculation and selection of operating parameters of the mixing pump in a residential building's hydronic heating system**

|                                                                                                                               |                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| № п/п: 'A2'. No.: 'A2'.                                                                                                       |                                                                                                                                                                 |
| Наименование величины: 'B2'. Quantity name: 'B2'.                                                                             |                                                                                                                                                                 |
| Условное обозначение: 'G2'. Symbol: 'G2'.                                                                                     |                                                                                                                                                                 |
| Значение: 'H2'. Value: 'H2'.                                                                                                  |                                                                                                                                                                 |
| Единица измерения: 'I2'. Unit of measurement: 'I2'.                                                                           |                                                                                                                                                                 |
| <b>Блок 1. Исходные данные: 'A3'. Block 1. Input data: 'A3'.</b>                                                              |                                                                                                                                                                 |
| 1.                                                                                                                            | Строительный объем отапливаемой части здания: 'B4': 'H4'.                                                                                                       |
| 2.                                                                                                                            | Расчетная температура наружного воздуха: 'B5': 'H5'.                                                                                                            |
| 3.                                                                                                                            | Расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы теплоснабжения: 'B6': 'H6'.                                                                 |
| 4.                                                                                                                            | Расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы водяного отопления здания: 'B7': 'H7'.                                                      |
| 5.                                                                                                                            | Расчетная температура теплоносителя в обратном трубопроводе от системы водяного отопления здания: 'B8': 'H8'.                                                   |
| 6.                                                                                                                            | Потери гидравлического напора в системе водяного отопления здания: 'B9': 'H9'.                                                                                  |
| <b>Блок 2. Промежуточные расчетные данные: 'A10'. Block 2. Intermediate calculated data: 'A10'.</b>                           |                                                                                                                                                                 |
| 1.                                                                                                                            | Средняя расчетная температура внутреннего воздуха в отапливаемой части здания: 'B11': 'H11', 'ЕСЛИ(H5>=-30;18;20)'.                                             |
| 2.                                                                                                                            | Расчетная максимальная тепловая нагрузка на нужды водяного отопления здания: 'B12': 'H12', 'ОКР-ВВЕРХ((1+0,05)*(1,3+0,01*H5)*1,528/(H4^0,125)*H4*(H11-H5);10)'. |
| 3.                                                                                                                            | Расчетный максимальный расход теплоносителя на нужды водяного отопления здания из тепловой сети: 'B13': 'H13', '3,6*H12/(4,187*(H6-H8))'.                       |
| 4.                                                                                                                            | Коэффициент смешения: 'B14': 'H14', '(H6-H7)/(H7-H8)'.                                                                                                          |
| <b>Блок 3. Исходные данные для подбора смесительного насоса: 'A15'. Block 3. Input data for mixing pump selection: 'A15'.</b> |                                                                                                                                                                 |
| 1.                                                                                                                            | Подача смесительного насоса: 'B16': 'H16', '1,1*H13*H14'.                                                                                                       |
| 2.                                                                                                                            | Гидравлический напор смесительного насоса: 'B17': 'H17', 'H9+2,5'.                                                                                              |

Рис. 2 содержит пример автоматизированного программного расчета и подбора параметров работы смесительного насоса системы водяного отопления жилого здания.

| № п/п                                                           | Наименование величины                                                                            | Условное обозначение | Значение | Единица измерения |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|-------------------|
| <b>Блок 1. Исходные данные</b>                                  |                                                                                                  |                      |          |                   |
| 1.                                                              | Строительный объем отапливаемой части здания                                                     | $V$                  | 6400     | м <sup>3</sup>    |
| 2.                                                              | Расчетная температура наружного воздуха                                                          | $t_o$                | -32      | °C                |
| 3.                                                              | Расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы теплоснабжения               | $t_1$                | 130      | °C                |
| 4.                                                              | Расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы водяного отопления здания    | $t_{o1}$             | 95       | °C                |
| 5.                                                              | Расчетная температура теплоносителя в обратном трубопроводе от системы водяного отопления здания | $t_2$                | 70       | °C                |
| 6.                                                              | Потери гидравлического напора в системе водяного отопления здания                                | $\Delta h_o$         | 4,55     | м вод. ст.        |
| <b>Блок 2. Промежуточные расчетные данные</b>                   |                                                                                                  |                      |          |                   |
| 1.                                                              | Средняя расчетная температура внутреннего воздуха в отапливаемой части здания                    | $t_i$                | 20       | °C                |
| 2.                                                              | Расчетная максимальная тепловая нагрузка на нужды водяного отопления здания                      | $Q_{отак}$           | 174970   | Вт                |
| 3.                                                              | Расчетный максимальный расход теплоносителя на нужды водяного отопления здания из тепловой сети  | $G_{до}$             | 2507     | кг/ч              |
| 4.                                                              | Коэффициент смешения                                                                             | $u$                  | 1,40     | —                 |
| <b>Блок 3. Исходные данные для подбора смесительного насоса</b> |                                                                                                  |                      |          |                   |
| 1.                                                              | Подача смесительного насоса                                                                      | $G$                  | 3861     | кг/ч              |
| 2.                                                              | Гидравлический напор смесительного насоса                                                        | $h$                  | 7,05     | м вод. ст.        |

**Рис. 2 - Результаты расчета и подбора параметров работы смесительного насоса системы водяного отопления жилого здания**

**Fig. 2 - Results of the calculation and selection of operating parameters of the mixing pump in a residential building's hydronic heating system**

Программа для расчета параметров водоструйного насоса системы водяного отопления жилого здания [29]. Программное обеспечение предназначено для определения параметров водоструйного насоса, устанавливаемого на замыкающем участке, между подающим и обратным трубопроводами системы водяного отопления жилого здания. Программный расчет позволяет по известному строительному объему отапливаемой части жилого здания, климатическим условиям региона, расчетным параметрам теплоносителя и гидравлическому режиму работы тепловой сети находить гидравлические условия работы и соответствующие геометрические характеристики водоструйного насоса. Листинг (текст программы) представлен в табл. 3.

Таблица 3. Листинг программы для расчета и подбора параметров работы водоструйного насоса системы водяного отопления жилого здания

Table 3. Program listing for the calculation and selection of operating parameters of the jet pump in a residential building's hydronic heating system

|                                                                                                             |                                                                                                                                                                 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| № п/п: 'A2'. No.: 'A2'.                                                                                     |                                                                                                                                                                 |
| Наименование величины: 'B2'. Quantity name: 'B2'.                                                           |                                                                                                                                                                 |
| Условное обозначение: 'G2'. Symbol: 'G2'.                                                                   |                                                                                                                                                                 |
| Значение: 'H2'. Value: 'H2'.                                                                                |                                                                                                                                                                 |
| Единица измерения: 'I2'. Unit of measurement: 'I2'.                                                         |                                                                                                                                                                 |
| Блок 1. Исходные данные: 'A3'. Block 1. Initial data: 'A3'.                                                 |                                                                                                                                                                 |
| 1.                                                                                                          | Строительный объем отапливаемой части здания: 'B4': 'H4'.                                                                                                       |
| 2.                                                                                                          | Расчетная температура наружного воздуха: 'B5': 'H5'.                                                                                                            |
| 3.                                                                                                          | Расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы теплоснабжения: 'B6': 'H6'.                                                                 |
| 4.                                                                                                          | Расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы водяного отопления здания: 'B7': 'H7'.                                                      |
| 5.                                                                                                          | Расчетная температура теплоносителя в обратном трубопроводе от системы водяного отопления здания: 'B8': 'H8'.                                                   |
| 6.                                                                                                          | Гидравлический напор перед элеватором: 'B9': 'H9'.                                                                                                              |
| 7.                                                                                                          | Потери гидравлического напора в системе водяного отопления здания: 'B10': 'H10'.                                                                                |
| Блок 2. Промежуточные расчетные данные: 'A11'. Block 2. Intermediate calculated data: 'A11'.                |                                                                                                                                                                 |
| 1.                                                                                                          | Средняя расчетная температура внутреннего воздуха в отапливаемой части здания: 'B12': 'H12', 'ЕСЛИ(H5>=-30;18;20)'.                                             |
| 2.                                                                                                          | Расчетная максимальная тепловая нагрузка на нужды водяного отопления здания: 'B13': 'H13', 'ОКР-ВВЕРХ((1+0,05)*(1,3+0,01*H5)*1,528/(H4^0,125)*H4*(H12-H5);10)'. |
| 3.                                                                                                          | Расчетный максимальный расход теплоносителя на нужды водяного отопления здания из тепловой сети: 'B14': 'H14', '3,6*H13/(4,187*(H6-H8))'.                       |
| 4.                                                                                                          | Коэффициент смешения: 'B15': 'H15', '(H6-H7)/(H7-H8)'.                                                                                                          |
| Блок 3. Параметры работы водоструйного насоса: 'A16'. Block 3. Operating parameters of the jet pump: 'A16'. |                                                                                                                                                                 |
| 1.                                                                                                          | Минимально необходимый гидравлический напор перед водоструйным насосом: 'B17': 'H17', '1,4*H10*(1+H15)^2'.                                                      |
| 2.                                                                                                          | Диаметр горловины водоструйного насоса: 'B18': 'H18', '8,5*((H14/1000)^2*(1+H15)^2/H10)^0,25'.                                                                  |
| 3.                                                                                                          | Диаметр сопла водоструйного насоса: 'B19': 'H19', '9,6*((H14/1000)^2/H9)^0,25'.                                                                                 |

Рис. 3 содержит пример автоматизированного программного расчета и подбора параметров работы водоструйного насоса системы водяного отопления жилого здания.

| № п/п                                         | Наименование величины                                                                            | Условное обозначение | Значение | Единица измерения |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|-------------------|
| Блок 1. Исходные данные                       |                                                                                                  |                      |          |                   |
| 1.                                            | Строительный объем отапливаемой части здания                                                     | $V'$                 | 6400     | м <sup>3</sup>    |
| 2.                                            | Расчетная температура наружного воздуха                                                          | $t_o$                | -32      | °C                |
| 3.                                            | Расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы теплоснабжения               | $t_1$                | 130      | °C                |
| 4.                                            | Расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы водяного отопления здания    | $t_{o1}$             | 95       | °C                |
| 5.                                            | Расчетная температура теплоносителя в обратном трубопроводе от системы водяного отопления здания | $t_2$                | 70       | °C                |
| 6.                                            | Гидравлический напор перед элеватором                                                            | $h_1$                | 45,8     | м вод. ст.        |
| 7.                                            | Потери гидравлического напора в системе водяного отопления здания                                | $\Delta h_o$         | 4,55     | м вод. ст.        |
| Блок 2. Промежуточные расчетные данные        |                                                                                                  |                      |          |                   |
| 1.                                            | Средняя расчетная температура внутреннего воздуха в отапливаемой части здания                    | $t_i$                | 20       | °C                |
| 2.                                            | Расчетная максимальная тепловая нагрузка на нужды водяного отопления здания                      | $Q_{max}$            | 174970   | Вт                |
| 3.                                            | Расчетный максимальный расход теплоносителя на нужды водяного отопления здания из тепловой сети  | $G_{до}$             | 2507     | кг/ч              |
| 4.                                            | Коэффициент смешения                                                                             | $\mu$                | 1,40     | —                 |
| Блок 3. Параметры работы водоструйного насоса |                                                                                                  |                      |          |                   |
| 1.                                            | Минимально необходимый гидравлический напор перед водоструйным насосом                           | $h$                  | 36,7     | м вод. ст.        |
| 2.                                            | Диаметр горловины водоструйного насоса                                                           | $d_r$                | 14,3     | мм                |
| 3.                                            | Диаметр сопла водоструйного насоса                                                               | $d_c$                | 5,8      | мм                |

Рис. 3 - Результаты расчета и подбора параметров работы водоструйного насоса системы водяного отопления жилого здания

Fig. 3 - Results of the calculation and selection of operating parameters of the jet pump in a residential building's hydronic heating system

Программа для расчета параметров циркуляционного насоса системы водяного отопления жилого здания [30]. Программное обеспечение предназначено для определения исходных параметров при подборе циркуляционного насоса, устанавливаемого на обратном трубопроводе системы водяного отопления жилого здания перед теплообменным аппаратом (независимое присоединение системы отопления к тепловой сети). Программный расчет позволяет по известному строительному объему отапливаемой части жилого здания, климатическим условиям региона и расчетным параметрам теплоносителя находить требуемую производительность и необходимый гидравлический напор циркуляционного насоса в системе водяного отопления жилого здания. Листинг (текст программы) представлен в табл. 4.

Таблица 4. Листинг программы для расчета и подбора параметров работы циркуляционного насоса системы водяного отопления жилого здания

Table 4. Program listing for the calculation and selection of operating parameters of the circulation pump in a residential building's hydronic heating system

|                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| № п/п: 'A2'. No.: 'A2'.                                                                                                                |                                                                                                                                                                 |
| Наименование величины: 'B2'. Quantity name: 'B2'.                                                                                      |                                                                                                                                                                 |
| Условное обозначение: 'G2'. Symbol: 'G2'.                                                                                              |                                                                                                                                                                 |
| Значение: 'H2'. Value: 'H2'.                                                                                                           |                                                                                                                                                                 |
| Единица измерения: 'I2'. Unit of measurement: 'I2'.                                                                                    |                                                                                                                                                                 |
| <b>Блок 1. Исходные данные: 'A3'. Block 1. Initial data: 'A3'.</b>                                                                     |                                                                                                                                                                 |
| 1.                                                                                                                                     | Строительный объем отапливаемой части здания: 'B4': 'H4'.                                                                                                       |
| 2.                                                                                                                                     | Расчетная температура наружного воздуха: 'B5': 'H5'.                                                                                                            |
| 3.                                                                                                                                     | Расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы водяного отопления здания: 'B6': 'H6'.                                                      |
| 4.                                                                                                                                     | Расчетная температура теплоносителя в обратном трубопроводе системы водяного отопления здания: 'B7': 'H7'.                                                      |
| 5.                                                                                                                                     | Потери гидравлического напора в подогревателе системы водяного отопления: 'B8': 'H8'.                                                                           |
| 6.                                                                                                                                     | Потери гидравлического напора в системе водяного отопления здания: 'B9': 'H9'.                                                                                  |
| <b>Блок 2. Промежуточные расчетные данные: 'A10'. Block 2. Intermediate calculated data: 'A10'.</b>                                    |                                                                                                                                                                 |
| 1.                                                                                                                                     | Средняя расчетная температура внутреннего воздуха в отапливаемой части здания: 'B11': 'H11', 'ЕСЛИ(H5>=-30;18;20)'.                                             |
| 2.                                                                                                                                     | Расчетная максимальная тепловая нагрузка на нужды водяного отопления здания: 'B12': 'H12', 'ОКР-ВВЕРХ((1+0,05)*(1,3+0,01*H5)*1,528/(H4^0,125)*H4*(H11-H5);10)'. |
| 3.                                                                                                                                     | Расчетный максимальный расход теплоносителя на нужды водяного отопления здания: 'B13': 'H13', '3600*H12/(4187*(H6-H7))'.                                        |
| 4.                                                                                                                                     | Плотность теплоносителя в обратном трубопроводе системы водяного отопления здания: 'B14': 'H14', '1000,3-0,06*H7-0,0036*H7^2'.                                  |
| <b>Блок 3. Исходные данные для подбора циркуляционного насоса: 'A15'. Block 3. Initial data for circulating pump selection: 'A15'.</b> |                                                                                                                                                                 |
| 1.                                                                                                                                     | Массовая подача циркуляционного насоса: 'B16': 'H16', 'H13/10^3'.                                                                                               |
| 2.                                                                                                                                     | Объемная подача циркуляционного насоса: 'B17': 'H17', 'H13/H14'.                                                                                                |
| 3.                                                                                                                                     | Гидравлический напор циркуляционного насоса: 'B18': 'H18', 'H8+H9'.                                                                                             |

Рис. 4 содержит пример автоматизированного программного расчета и подбора параметров работы циркуляционного насоса системы водяного отопления жилого здания.

| № п/п                                                             | Наименование величины                                                                         | Условное обозначение | Значение | Единица измерения |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|-------------------|
| <b>Блок 1. Исходные данные</b>                                    |                                                                                               |                      |          |                   |
| 1.                                                                | Строительный объем отапливаемой части здания                                                  | $V_{зд}$             | 7700     | м <sup>3</sup>    |
| 2.                                                                | Расчетная температура наружного воздуха                                                       | $t_o$                | -32      | °C                |
| 3.                                                                | Расчетная температура теплоносителя в подающем трубопроводе системы водяного отопления здания | $t_{o1}$             | 95       | °C                |
| 4.                                                                | Расчетная температура теплоносителя в обратном трубопроводе системы водяного отопления здания | $t_2$                | 70       | °C                |
| 5.                                                                | Потери гидравлического напора в подогревателе системы водяного отопления                      | $\Delta h_n$         | 5,60     | м вод. ст.        |
| 6.                                                                | Потери гидравлического напора в системе водяного отопления здания                             | $\Delta h_o$         | 3,90     | м вод. ст.        |
| <b>Блок 2. Промежуточные расчетные данные</b>                     |                                                                                               |                      |          |                   |
| 1.                                                                | Средняя расчетная температура внутреннего воздуха в отапливаемой части здания                 | $t_i$                | 20       | °C                |
| 2.                                                                | Расчетная максимальная тепловая нагрузка на нужды водяного отопления здания                   | $Q_{max}$            | 205700   | Вт                |
| 3.                                                                | Расчетный максимальный расход теплоносителя на нужды водяного отопления здания                | $G_{max}$            | 7074     | кг/ч              |
| 4.                                                                | Плотность теплоносителя в обратном трубопроводе системы водяного отопления здания             | $\rho$               | 978,46   | кг/м <sup>3</sup> |
| <b>Блок 3. Исходные данные для подбора циркуляционного насоса</b> |                                                                                               |                      |          |                   |
| 1.                                                                | Массовая подача циркуляционного насоса                                                        | $G$                  | 7,07     | т/ч               |
| 2.                                                                | Объемная подача циркуляционного насоса                                                        | $V'$                 | 7,23     | м <sup>3</sup> /ч |
| 3.                                                                | Гидравлический напор циркуляционного насоса                                                   | $h$                  | 9,50     | м вод. ст.        |

Рис. 4 - Результаты расчета и подбора параметров работы циркуляционного насоса системы водяного отопления жилого здания

Fig. 4 - Results of the calculation and selection of operating parameters of the circulation pump in a residential building's hydronic heating system

Разработаны алгоритмы и программные модули, ориентированные на автоматизированный расчет и подбор параметров работы насосного оборудования в системах водяного отопления жилых зданий. Полученные решения позволили всесторонне учесть теплотехнические и гидравлические особенности проектируемых систем, а также обеспечить целостность и воспроизводимость вычислений. Реализация модульной структуры расчетов продемонстрировала высокую точность и стабильность работы программных средств, что существенно повысило эффективность проектных процедур. Автоматизация расчетов значительно сокращает трудоемкость инженерной работы и снижает риск ошибок, характерных для ручного подбора оборудования. Представленные результаты позволяют оценить практическую значимость разработанных алгоритмов и подтверждают их применимость в различных конфигурациях систем отопления.

**Вывод.** Разработанные алгоритмы инженерных расчетов и их программная реализация позволили формализовать процедуры подбора параметров работы трех типов насосного оборудования в системах водяного отопления жилых зданий. Созданные программные модули охватывают весь спектр расчетных задач – от ввода исходных данных до получения параметров смесительных, водоструйных и циркуляционных насосов. Обоснование и структурирование алгоритмов выполнено в соответствии с положениями действующих нормативных документов, включая своды правил «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха» и «Проектирование тепловых пунктов», а также межгосударственный стандарт «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях». Проверка результатов подтвердила корректность, устойчивость и инженерную применимость программных решений в условиях реального проектирования. Автоматизация расчетов способствует снижению трудозатрат на этапе подготовки технических решений и имеет потенциал для интегрирования в системы САПР и ВМ-среды.

Полученные результаты обладают высокой воспроизводимостью и универсальностью, что обеспечивает возможность их применения в техническом и энергетическом аудитах зданий, а также практической инженерной деятельности. Отметим основные результаты работы:

1. Разработана единая методология подбора параметров работы насосного оборудования трех типов, построенная на модульной архитектуре и адаптированная к инженерной практике.
  2. Предложены алгоритмы расчета для трех типов насосов – смесительного, водоструйного и циркуляционного – с учетом параметров теплоносителя, тепловой нагрузки и гидравлических характеристик системы водяного отопления.
  3. Реализованы программные модули на языке *VBA*, обеспечивающие автоматизацию всех этапов вычислений и формирование выходных параметров для подбора оборудования.
  4. Проведена проверка работоспособности разработанных программ, подтвержденная сопоставлением расчетных данных с нормативными и типовыми инженерными решениями.
  5. Обоснована практическая применимость разработанных программ в проектировании систем водяного отопления и экспертной деятельности.
- Обозначим перспективы дальнейших исследований:
1. Расширение алгоритмов расчета и подбора параметров работы насосного оборудования для учета динамических режимов функционирования отопительных систем, включая пусковые и аварийные режимы.
  2. Разработка модулей интеграции с САПР и ВМ-платформами для обеспечения сквозного проектирования инженерных систем жизнеобеспечения.
  3. Внедрение методов многокритериальной оптимизации параметров насосного оборудования с учетом энергоэффективности и эксплуатационных затрат.
  4. Адаптация алгоритмов к эксплуатации в условиях автономного теплоснабжения и малоэтажной застройки с переменной нагрузкой.

5. Разработка *web*-ориентированных версий программных решений для повышения доступности цифровых инженерных инструментов в дистанционном формате.

Эффективность алгоритмизации инженерных расчетов как основы для создания прикладных программных средств в области отопления и теплоснабжения подтверждена полученными результатами. Разработанные программные модули обеспечивают воспроизводимость расчетов, соответствие нормативным требованиям и практическую применимость в проектно-эксплуатационной деятельности. Итоги исследования формируют научно обоснованную базу для дальнейшего совершенствования цифровых решений в области проектирования систем водяного отопления жилых зданий.

**Библиографический список:**

1. Viskar, Romi and Lepiksaar, Kertu. Typical problems and the solutions for heating substations. CONECT. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies. 2025. 32. <https://doi.org/10.7250/CONNECT.2025.011>
2. Zakladnyi, Oleg and Prokopenko, Volodymyr. Comprehensive assessment of energy efficiency of pumping equipment with adjustable drive. power engineering: economics, technique, ecology. 2025. <https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2025.329529>
3. Vahidi, Hossein and Esfahanizadeh, Mohsen. A comparative life cycle assessment of residential heating systems in Tehran, Iran. Energy Science and Engineering. 2025. <https://doi.org/10.1002/ese3.70129>
4. Li, Chen and Qiu, Baoyun and Yan, Tianxu and Wang, Huijie and Zhao, Fangling and Qi, Guipeng. The optimization strategy of pump-valve combined scheduling and pump unit reselection in heating systems. Journal of Physics: Conference Series. 2024. 2854. 012072. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2854/1/012072>
5. Дорофеева, Н.Л. Автоматизация температурных режимов в водяных системах отопления / Н.Л. Дорофеева, А.В. Бабик // Молодежный вестник ИРГТУ. 2021. Т. 11. № 2. С. 67-70
6. Peng, Yin and Wenju, Hu and Deying, Li and Xiaoyu, Li and Xiping, Zeng. Application and economic analysis of water jet pump in new district heating system. Procedia Engineering. 2017. 205. 996-1003. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.158>
7. Liu, Xuelai and Zhan, Qunqun and Lia, Yongan. The application analysis of jet pump in heating system. Procedia Engineering. 2017. 205. 2208-2214. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.050>
8. Han, Jingtong and Li, Deying. Research on pipe network transformation of central heating system based on adjustable jet pump technology. Procedia Engineering. 2017. 205. 751-756. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.006>
9. Liu, Fangzhou and Li, Deying and Zeng, Xiping. Research on energy saving technology of distributing combined adjustable jet pump. Procedia Engineering. 2017. 205. 738-743. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.004>
10. Ravan Ghalati, Akbar and Sandoval, Manuel and Croquer, Sergio and Poncet, Sébastien and Lacey, Jay and Nesreddine, Hakim. Numerical modelling of liquid water jet pumps. 2024. <https://doi.org/10.11159/enfht24.286>
11. Новиков, Г.Ю. Сравнительный анализ функционирования горизонтальных систем водяного отопления жилых зданий / Г.Ю. Новиков, В.А. Галковский, Е.Г. Новикова // Вестник евразийской науки. 2025. Т.17. № 1.
12. Lysova, E. and Paramonova, O. Development of the structure of the life cycle of the heating system of a construction facility. Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning. 2025;4:68-75. [doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-1-68-75](https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-1-68-75)
13. Garbai, László and Santa, Robert and Bošnjaković, Mladen. System-theory approach to the operation of heat exchangers in district heating systems. Periodica Polytechnica Mechanical Engineering. 2025. <https://doi.org/10.3311/PPme.40593>
14. Chen, Chaofan and Witte, Francesco and Taherdangkoo, Reza and Cai, Wanlong and Chen, Shuang and Kong, Yanlong and Shao, Haibing and Hofmann, Mathias and Nagel, Thomas. Thermal performance response and heat load redistribution mechanism of a deep U-type borehole heat exchanger in heating systems. Applied Energy. 2025. 382. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.125216>
15. Angelidis, Orestis. 5th generation district heating and cooling for holistic energy system decarbonisation: Novel system designs and detailed techno-economic assessment. 2025. <https://doi.org/10.5525/gla.thesis.84916>
16. Mustafaoglu, Mansur and Matin, Reza and Kotcioğlu, İsak and Yeşilyurt, Muhammet. Experimental evaluation of water source heat pump by Taguchi method. 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12547609>
17. Krajcik, Michal and Arıcı, Müslüm and Ma, Zhenjun. Trends in research of heating, ventilation and air conditioning and hot water systems in building retrofits: Integration of review studies. Journal of Building Engineering. 2023. 76. 107426. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107426>
18. Derii, V.O. and Teslenko, Oleksandr and Sokolovska, I. Methodical approach to estimating the potential of thermal energy production by heat pump plants in case of their implementation in regional district heating systems. Energy Technologies and Resource Saving. 2023. 75. 44-56. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2023.03>
19. Vering, Christian and Otto, Andy and Mortimer, Marc and Mehrfeld, Philipp and Mueller, Dirk. ACoolHeaD: framework for automated cooling and heating demand calculations using spatially and temporally resolved building performance simulations applied to the estimation of heating demand in Germany. Energy and Buildings. 2021. 252. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111442>
20. Lu, Chujie and Li, Sihui and Penaka, Santhan and Olofsson, Thomas. Automated machine learning-based framework of heating and cooling load prediction for quick residential building design. Energy. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127334>
21. Polyakov, Sergey. Simulation of a heating automation system for a «smart» residential building. Modeling of systems and processes. 2021. 14. 35-44. <https://doi.org/10.12737/2219-0767-2021-14-2-35-44>

22. Симашев, В.И. Разработка системы управления ассоциативно-защищенными картографическими базами данных в распределенной вычислительной среде / В.И. Симашев, М.Г. Нуриев // Международный научно-исследовательский журнал. 2025. № 4 (154). <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.89>
23. Smidl, Vaclav and Sirový, Martin and Gevorkov, Levon and Rassölkín, Anton and Kallaste, Ants and Vaimann, Toomas. Model for energy management of residential building heating system. 2020. <https://doi.org/10.1109/IWED48848.2020.9069503>
24. Zhang, Jiarui and Mu, Yunfei and Wu, Zeqing and Liu, Zhe and Gao, Yi and Li, Hairun. Optimal scheduling method of regenerative electric heating for emergency residential building heating: An affine arithmetic-based model predictive control approach. IET Energy Systems Integration. 2022. 5. <https://doi.org/10.1049/esi2.12082>
25. Vlaminc, Noémie and Henneaux, Lucas and Besson, Maxime and Parwatha, I Gede and Sainvitu, Caroline. Data-driven forecasting of residential water, heating and electricity consumption. 2025. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35181.09441>
26. Schmidt, Matthias and Sourmelis Terzopoulos, Venizelos Eleftherios and Kühn, Viktor and Linder, Marc. Zero emission heating with calcium oxide and water: development and demonstration of first pilot scale thermochemical heating system for buildings. Frontiers in Energy Research. 2025. 13. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2025.1617554>
27. Hsu, Po-Ching and Gao, Lei and Hwang, Yunho and Radermacher, Reinard. A review of the state-of-the-art data-driven modeling of building HVAC systems. Energy and Buildings. 2025. 342. 115881. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115881>
28. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022685238. Программа для расчета параметров смесительного насоса системы водяного отопления жилого здания: № 2022685406: заявл. 22.12.2022: опубл. 22.12.2022. Бюл. № 1. М.В. Павлов, Д.Ф. Карпов, В.А. Писаренко; правообладатель ВоГУ. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35554.54726>
29. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617020. Программа для расчета параметров водоструйного насоса системы водяного отопления жилого здания: № 2023616258: заявл. 04.04.2023: опубл. 04.04.2023. Бюл. № 4. М.В. Павлов, Д.Ф. Карпов, В.А. Писаренко; правообладатель ВоГУ. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19616.19201>
30. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023689376. Программа для расчета параметров циркуляционного насоса системы водяного отопления жилого здания: № 2023689435: заявл.29.12.2023:опубл.29.12.2023. Бюл. № 1.М.В.Павлов, Д.Ф.Карпов, В.А. Писаренко, К.В. Писаренко, В.П. Жукова;правообладатель ВоГУ. [doi.org/10.13140/RG.2.2.23482.81602](https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23482.81602)

#### References:

1. Viskar, Romi and Lepiksaar, Kertu. Typical problems and the solutions for heating substations. CONECT. International Scientific Conference of Environmental and Climate Technologies. 2025:32. <https://doi.org/10.7250/CONECT.2025.011>
2. Zakladnyi O. and Prokopenko V.. Comprehensive assessment of energy efficiency of pumping equipment with adjustable drive. power engineering: economics, technique, ecology. 2025. [doi.org/10.20535/1813-5420.2.2025.329529](https://doi.org/10.20535/1813-5420.2.2025.329529)
3. Vahidi, Hossein and Esfahanizadeh, Mohsen. A comparative life cycle assessment of residential heating systems in Tehran, Iran. Energy Science and Engineering. 2025. <https://doi.org/10.1002/ese3.70129>
4. Li, Chen and Qiu, Baoyun and Yan, Tianxu and Wang, Huijie and Zhao, Fangling and Qi, Guipeng. The optimization strategy of pump-valve combined scheduling and pump unit reselection in heating systems. Journal of Physics: Conference Series. 2024; 2854. 012072. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2854/1/012072>
5. Dorofeeva, N.L., Babik, A.V. Automation of temperature regimes in hydronic heating systems. *Youth Bulletin of IrStU*. 2021;11(2): 67-70 (In Russ.)
6. Peng, Yin and Wenju, Hu and Deying, Li and Xiaoyu, Li and Xiping, Zeng. Application and economic analysis of water jet pump in new district heating system. *Procedia Engineering*. 2017;205:996-1003. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.158>
7. Liu, Xuelai and Zhan, Qunqun and Lia, Yongan. The application analysis of jet pump in heating system. *Procedia Engineering*. 2017;205: 2208-2214. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.050>
8. Han, Jingtong and Li, Deying. Research on pipe network transformation of central heating system based on adjustable jet pump technology. *Procedia Engineering*. 2017;205:751-756. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.006>
9. Liu, Fangzhou and Li, Deying and Zeng, Xiping. Research on energy saving technology of distributing combined adjustable jet pump. *Procedia Engineering*. 2017;205:738-743. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.004>
10. Ravan Ghalati, Akbar and Sandoval, Manuel and Croquer, Sergio and Poncet, Sébastien and Lacey, Jay and Nesreddine, Hakim. *Numerical modelling of liquid water jet pumps*. 2024. <https://doi.org/10.11159/enfht24.286>
11. Novikov, G.Yu., Galkovsky, V.A., Novikova, E.G. Comparative analysis of the performance of horizontal hydronic heating systems in residential buildings. *Bulletin of Eurasian Science*. 2025; 17(1) (In Russ.)
12. Lysova, E. and Paramonova, O. Development of the structure of the life cycle of the heating system of a construction facility. *Modern Trends in Construction, Urban and Territorial Planning*. 2025;4:68-75. <https://doi.org/10.23947/2949-1835-2025-4-1-68-75>
13. Garbai László and Santa, Robert and Bošnjaković, Mladen. System-theory approach to the operation of heat exchangers in district heating systems. *Periodica Polytechnica Mechanical Engineering*. 2025. [Doi. org/10.3311/PPme.40593](https://doi.org/10.3311/PPme.40593)
14. Chen, Chaofan and Witte, Francesco and Taherdangkoo, Reza and Cai, Wanlong and Chen, Shuang and Kong, Yanlong and Shao, Haibing and Hofmann, Mathias and Nagel, Thomas. Thermal performance response and heat load redistribution mechanism of a deep U-type borehole heat exchanger in heating systems. *Applied Energy*. 2025;382. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.125216>
15. Angelidis, Orestis. 5th generation district heating and cooling for holistic energy system decarbonisation: Novel system designs and detailed techno-economic assessment. 2025. [doi.org/10.5525/gla.thesis.84916](https://doi.org/10.5525/gla.thesis.84916)
16. Mustafaoğlu, Mansur and Matin, Reza and Kotcioğlu, İsak and Yeşilyurt, Muhammet. Experimental evaluation of water source heat pump by Taguchi method. 2024. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12547609>
17. Krajcik, Michal and Arıcı, Müslüm and Ma, Zhenjun. Trends in research of heating, ventilation and air conditioning and hot water systems in building retrofits: Integration of review studies. *Journal of Building Engineering*. 2023; 76. 107426. <https://doi.org/10.1016/j.job.2023.107426>

18. Derii, V.O. and Teslenko, Oleksandr and Sokolovska, I. Methodical approach to estimating the potential of thermal energy production by heat pump plants in case of their implementation in regional district heating systems. *Energy Technologies and Resource Saving*. 2023;75:44-56. doi.org/10.33070/etars.2.2023.03
19. Vering, Christian and Otto, Andy and Mortimer, Marc and Mehrfeld, Philipp and Mueller, Dirk. ACoolHeaD: framework for automated cooling and heating demand calculations using spatially and temporally resolved building performance simulations applied to the estimation of heating demand in Germany. *Energy and Buildings*. 2021;252. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111442>
20. Lu, Chujie and Li, Sihui and Penaka, Santhan and Olofsson, Thomas. Automated machine learning-based framework of heating and cooling load prediction for quick residential building design. *Energy*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.127334>
21. Polyakov, Sergey. Simulation of a heating automation system for a «smart» residential building. *Modeling of systems and processes*. 2021;14:35-44. <https://doi.org/10.12737/2219-0767-2021-14-2-35-44>
22. Simashev, V.I., Nuriev, M.G. Development of a control system for associatively protected cartographic databases in a distributed computing environment. *International Research Journal*. 2025;4(154). <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.154.89> (In Russ.)
23. Smidl, Vaclav and Sirový, Martin and Gevorkov, Levon and Rassölkin, Anton and Kallaste, Ants and Vaimann, Toomas. *Model for energy management of residential building heating system*. 2020. <https://doi.org/10.1109/IWED48848.2020.9069503>
24. Zhang, Jiarui and Mu, Yunfei and Wu, Zeqing and Liu, Zhe and Gao, Yi and Li, Hairun. Optimal scheduling method of regenerative electric heating for emergency residential building heating: An affine arithmetic-based model predictive control approach. *IET Energy Systems Integration*. 2022;5. <https://doi.org/10.1049/esi2.12082>
25. Vlamincx, Noémie and Henneaux, Lucas and Besson, Maxime and Parwatha, I Gede and Sainvitu, Caroline. *Data-driven forecasting of residential water, heating and electricity consumption*. 2025. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35181.09441>
26. Schmidt, Matthias and Sourmelis Terzopoulos, Venizelos Eleftherios and Kühl, Viktor and Linder, Marc. Zero emission heating with calcium oxide and water: development and demonstration of first pilot scale thermochemical heating system for buildings. *Frontiers in Energy Research*. 2025;13. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2025.1617554>
27. Hsu, Po-Ching and Gao, Lei and Hwang, Yunho and Radermacher, Reinard. A review of the state-of-the-art data-driven modeling of building HVAC systems. *Energy and Buildings*. 2025;42:115881. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115881>
28. Certificate of state registration of a computer program No. 2022685238. Software for calculating the parameters of a mixing pump in a residential building's water heating system. No. 2022685406; filed on 22.12.2022; published on 22.12.2022. Bulletin No. 1. M.V. Pavlov, D.F. Karpov, V.A. Pisarenko; copyright holder: VSU. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.35554.54726> (In Russ.)
29. Certificate of state registration of a computer program No. 2023617020. Software for calculating the parameters of a water jet pump in a residential building's water heating system. No. 2023616258; filed on 04.04.2023; published on 04.04.2023. Bulletin No. 4. M.V. Pavlov, D.F. Karpov, V.A. Pisarenko; copyright holder: VSU. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19616.19201> (In Russ.)
30. Certificate of state registration of a computer program No. 2023689376. Software for calculating the parameters of a circulation pump in a residential building's water heating system. No. 2023689435; filed on 29.12.2023; published on 29.12.2023. Bulletin No. 1. M.V. Pavlov, D.F. Karpov, V.A. Pisarenko, K.V. Pisarenko, V.P. Zhukova; copyright holder: VSU. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.23482.81602> (In Russ.)

#### Сведения об авторах:

Карпов Денис Федорович, старший преподаватель, кафедра теплогазоводоснабжения; [karpovdf@vogu35.ru](mailto:karpovdf@vogu35.ru); ORCID 0000-0002-3522-9302

Павлов Михаил Васильевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра теплогазоводоснабжения; [pavlovmv@vogu35.ru](mailto:pavlovmv@vogu35.ru); ORCID 0000-0002-8687-3296

Абрамова Елена Вячеславовна, доктор технических наук, профессор, кафедра сварки, диагностики и специальной робототехники; главный научный сотрудник, НИИСФ РААСН; [eva32@bk.ru](mailto:eva32@bk.ru); РИНЦ ID 107200

Разумнова Елена Альбертовна, старший преподаватель, кафедра начертательной геометрии и инженерной графики; [elena07razumnova@yandex.ru](mailto:elena07razumnova@yandex.ru); РИНЦ ID 738185

#### Information about authors:

Denis F. Karpov, Senior Lecturer, Department of Heat, Gas and Water Supply; [karpovdf@vogu35.ru](mailto:karpovdf@vogu35.ru); ORCID0000-0002-3522-9302

Mikhail V. Pavlov, Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Department of Heat, Gas and Water Supply; [pavlovmv@vogu35.ru](mailto:pavlovmv@vogu35.ru); ORCID 0000-0002-8687-3296

Elena V. Abramova, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Department of Welding, Diagnostics and Special Robotics; Chief Scientific Officer, NIISF RAASN; [eva32@bk.ru](mailto:eva32@bk.ru); RSCI ID 107200

Elena A. Razumnova, Senior Lecturer, Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics; [elena07razumnova@yandex.ru](mailto:elena07razumnova@yandex.ru); RSCI ID 738185

#### Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 31.07.2025.

Одобрена после рецензирования/Revised 24.08.2025.

Принята в печать/Accepted for publication 05.09.2025.