

УДК 697.24:621.311.22:004.92

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ И ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ТЕПЛОВОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ ЧАСТНОГО ДОМА

Зиангиров А. Ф.

*Казанский государственный энергетический университет,
г. Казань, Российская Федерация*

Научный руководитель: Зинуров В. Э. – к.т.н., и.о. зав кафедрой ИГ

Аннотация. Рассмотрена возможность применения стационарного высокотемпературного теплового накопителя энергии в системе водяного отопления частного дома, расположенного в негазифицированном регионе. Выполнена укрупнённая оценка суточной тепловой потребности здания, требуемой энергоёмкости накопителя и мощности его ночной зарядки. Представлена схема экспериментальной установки для исследования теплофизических характеристик теплоаккумулирующих материалов. На основе полученных параметров рассмотрено параметрическое моделирование конструкции теплового накопителя в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D. Показано, что применение тепловых накопителей позволяет переносить значительную часть электропотребления на ночной период и снижать пиковые нагрузки на энергосистему.

Ключевые слова: тепловой накопитель энергии, электроотопление, теплоаккумулирующие материалы, параметрическое моделирование, КОМПАС-3D

Введение. Повышение эффективности использования электрической энергии в системах отопления является одной из актуальных задач современной энергетики. В условиях роста тарифов на энергоресурсы и увеличения доли электроотопления в жилом секторе особое значение приобретает задача сглаживания суточных графиков потребления электроэнергии [4].

Одним из эффективных способов решения данной задачи является использование систем аккумулирования тепловой энергии. Тепловые накопители позволяют запасать энергию в периоды минимальной нагрузки энергосистемы, например в ночные часы, и использовать её в дневное время для обеспечения отопления зданий [5].

В последние годы значительное внимание уделяется разработке высокотемпературных тепловых накопителей, в которых тепло аккумулируется в твёрдотельных материалах при температурах до 800–900 °С. Такие устройства обладают высокой удельной энергоёмкостью и могут иметь меньшие габариты по сравнению с традиционными водяными аккумуляторами тепла [1].

Разработка подобных систем требует проведения как теплотехнических расчётов, так и инженерного проектирования конструкции. В современных условиях важную роль играет применение систем автоматизированного проектирования, позволяющих создавать параметрические модели оборудования и анализировать различные варианты компоновки [7].

Целью настоящей работы является укрупнённая оценка параметров высокотемпературного теплового накопителя энергии для системы отопления частного дома площадью 100 м², а также анализ конструкции экспериментальной установки и рассмотрение параметрического моделирования накопителя в системе КОМПАС-3D.

Основная часть. В качестве расчётного объекта принят жилой дом площадью 100 м² с традиционной водяной системой отопления. Для укрупнённой инженерной оценки удельная тепловая нагрузка здания принята равной 80 Вт/м², что соответствует значениям, характерным для утеплённых жилых зданий средней полосы России [6].

Расчётная тепловая мощность системы отопления определяется выражением (1):

$$Q = q \cdot S, \quad (1)$$

806

где q – удельная тепловая нагрузка здания, Вт/м²;

S – площадь здания, м².

Для рассматриваемого дома:

$$Q = 80 \cdot 100 = 8000 \text{ Вт.}$$

Таким образом, максимальная тепловая мощность системы отопления составляет около 8 кВт.

Практический опыт эксплуатации систем отопления показывает, что средняя тепловая нагрузка здания в течение суток обычно составляет около 65–70 % от расчётной величины [6]. В этом случае средняя мощность системы отопления может быть принята равной приблизительно 5,5 кВт.

Суточная потребность здания в тепловой энергии определяется по формуле 2:

$$E = P \cdot t, \quad (2)$$

где P – средняя тепловая мощность системы отопления;

t – продолжительность расчётного периода.

При $t = 24$ ч получаем:

$$E = 5,5 \cdot 24 = 132 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

При расчёте параметров теплового накопителя необходимо учитывать теплопотери и потери передачи теплоты от аккумулирующего блока к теплоносителю, а также эффективность теплоизоляции конструкции накопителя [3]. Если принять общий коэффициент полезного использования запасённой теплоты равным 0,85, то требуемый запас энергии внутри накопителя составит:

$$E_{\text{нак}} = \frac{132}{0,85} \approx 155 \text{ кВт} \cdot \text{ч.}$$

Следовательно, энергоёмкость высокотемпературного теплового накопителя для рассматриваемого здания должна составлять порядка 150–160 кВт·ч.

При использовании двухтарифной системы электроснабжения зарядка накопителя может осуществляться преимущественно в ночные часы. Если продолжительность ночного периода принять равной 8 ч, то требуемая мощность электрических нагревателей определяется как:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{155}{8} \approx 19 \text{ кВт.}$$

Таким образом, установленная мощность нагревательных элементов может составлять около 20–22 кВт.

Для исследования тепловых процессов и теплофизических характеристик теплоаккумулирующих материалов используется экспериментальная установка теплового накопителя, схема которой представлена на рисунке 1.

В экспериментальной установке нагрев осуществляется электрическим нагревательным элементом в виде фехральной спирали, размещённой внутри керамической трубки.

Пространство вокруг нагревателя заполнено корундовым порошком, выполняющим функцию теплоаккумулирующего материала.

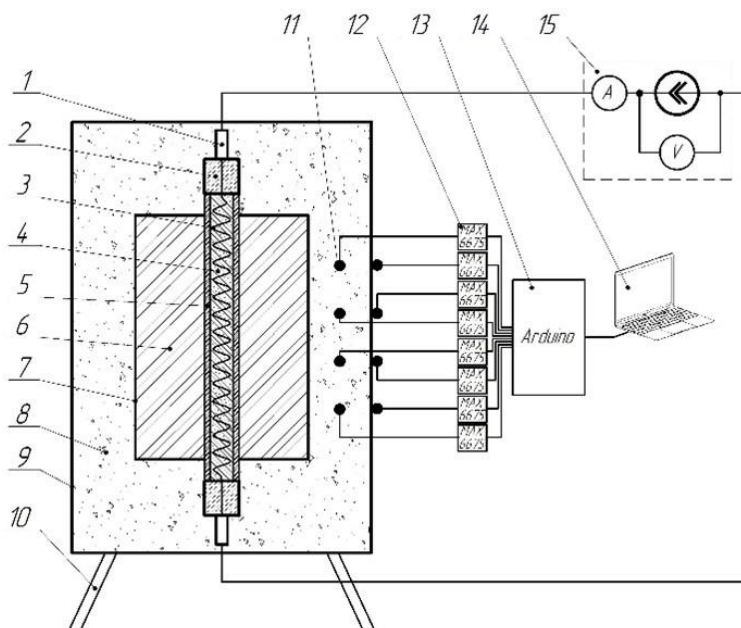


Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки теплового накопителя:

1 – клеммная колодка; 2 – пробка; 3 – нить нагрева; 4 – корундовый порошок; 5 – трубка керамическая; 6 – теплоаккумулирующий материал; 7 – цилиндрический корпус; 8 – теплоизоляционный материал; 9 – оболочка; 10 – опора; 11 – термопары; 12 – измерительные модули; 13 – контроллер; 14 – компьютер; 15 – источник тока

Температурный режим контролируется термопарами типа К, установленными на различных уровнях слоя. Сигналы с термопар поступают в измерительные модули и далее передаются на контроллер и компьютер для регистрации и обработки данных.

Подобные экспериментальные установки позволяют исследовать теплопроводность и тепловой режим сыпучих материалов при высоких температурах, а также оценивать влияние плотности упаковки и структуры материала на процессы теплопереноса [1,2].

Разработка конструкций тепловых накопителей требует проведения компоновочных расчётов и анализа геометрических параметров устройства. Для решения данной задачи используется параметрическое моделирование в системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D.

Параметрическая модель теплового накопителя позволяет задавать основные конструктивные параметры устройства, включая:

- диаметр цилиндрического корпуса;
- высоту теплоаккумулирующего слоя;
- толщину теплоизоляции;
- объём теплоаккумулирующего материала;
- расположение нагревательных элементов.

Изменение указанных параметров приводит к автоматическому перестроению геометрии модели. Это позволяет быстро анализировать различные конструктивные варианты теплового накопителя, оценивать габаритные размеры и проводить предварительную оптимизацию конструкции.

Использование параметрического моделирования облегчает разработку теплотехнического оборудования и является важным этапом подготовки конструкторской документации при проектировании энергетических установок [7].

Заключение. В работе выполнена укрупнённая оценка параметров высокотемпературного теплового накопителя энергии для системы отопления частного дома

площадью 100 м². Показано, что расчётная тепловая мощность системы отопления составляет около 8 кВт, а средняя суточная потребность в тепловой энергии – порядка 132 кВт·ч.

Установлено, что для полного покрытия суточной тепловой нагрузки энергоёмкость теплового накопителя должна составлять около 150–160 кВт·ч. При ночной зарядке продолжительностью 8 часов требуемая мощность нагревательных элементов составляет около 20 кВт.

Рассмотрена конструкция экспериментальной установки для исследования теплоаккумулирующих материалов. Показано, что применение параметрического моделирования в системе КОМПАС-3D позволяет эффективно выполнять предварительное проектирование тепловых накопителей и анализировать различные варианты их конструкции.

Исследование выполнено в рамках гранта Академии Наук Республики Татарстан на поддержку программ развития передовых инженерных школ республиканского значения «ТурбоПИШ», соглашение 1РПИШ от 19.12.2025 г.

Список литературы

1. Оценка процесса переноса энергии в тепловом накопителе с высокотемпературным рабочим телом при его разрядке / А. Н. Чадаев, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. – 2024. – Т. 24, № 4. – С. 73-85. – DOI 10.14529/power240409. – EDN XJZJKR.
2. Численное моделирование нагрева теплового накопителя энергии для обогрева тепличного хозяйства / А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров, М. О. Уткин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2025. – Т. 20, № 1(77). – С. 47-53. – DOI 10.12737/2073-0462-2025-1-47-53. – EDN PCSCQF.
3. Алгоритм расчета многослойной системы теплоизоляции теплового накопителя энергии с высокотемпературным рабочим телом / А. Н. Чадаев, А. В. Дмитриев, В. Э. Зинуров [и др.] // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2024. – Т. 26, № 6. – С. 166-179. – DOI 10.30724/1998-9903-2024-26-6-166-179. – EDN JNGEHY.
4. Duffie J. A., Beckman W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. – John Wiley & Sons, 2013.
5. Sharma A. et al. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications //Renewable and Sustainable energy reviews. – 2009. – Т. 13. – №. 2. – С. 318-345.
6. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. – М.: Минрегион России, 2012.
7. Системы автоматизированного проектирования машин и оборудования. В 2 ч. Ч. 1. Основы двухмерного проектирования деталей машин в системе КОМПАС-ГРАФИК учеб.-метод. пособие к лаб. работам по одному. дисциплине для студентов специальности 1-36 07 01 «Машины и аппараты химических производств и предприятий строительных материалов» / А. А. Гарабашу. – Мн. : БГТУ, 2006. – 145 с.

UDC 697.24:621.311.22:004.92

ASSESSMENT OF PARAMETERS AND PARAMETRIC MODELING OF A HIGH-TEMPERATURE THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEM FOR A PRIVATE HOUSE HEATING SYSTEM

Ziangirov A.F.

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russian Federation

Scientific supervisor: Zinurov V.E. – Cand. of Sci., acting head of the department of EG

Annotation. This article examines the feasibility of using a stationary high-temperature thermal energy storage device in a domestic hot water heating system for a private home located in a region without gasification. A comprehensive assessment of the building's daily heating demand, the required energy capacity of the storage device, and its nighttime charging capacity is provided. A schematic of an experimental setup for studying the thermophysical properties of heat-storage materials is presented. Based on the obtained parameters, parametric modeling of the storage device design is considered using the KOMPAS-3D automated design system. It is demonstrated that the use of thermal storage devices allows for the transfer of a significant portion of electricity consumption to the nighttime period, reducing peak loads on the power grid.

Keywords: thermal energy storage, electric heating, heat-storage materials, parametric modeling, KOMPAS-3D