

УДК 621.928.6

UDC 621.928.6

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ ТЕПЛА В НАКОПИТЕЛЕ ЭНЕРГИИ ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

STUDY OF HEAT TRANSFER IN AN ENERGY STORAGE SYSTEM FOR THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

Шарипов Ильнар Ильдарович
Канд. техн. наук
SPIN – код автора: 8046-8265
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Sharipov Inar Ildarovich
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code: 8046-8265
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Уткин Максим Олегович
Аспирант
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Utkin Maksim Olegovich
Postgraduate student
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Кулай Иван Геннадьевич
Аспирант
SPIN – код автора: 7319-6613
Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Kulai Ivan Gennadevich
Postgraduate student
RSCI SPIN-code: 7319-6613
Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Кузнецов Максим Геннадьевич
Канд. техн. наук
SPIN – код автора: 1592-7630
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия
Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Kuznetsov Maxim Gennadievich
Cand.Tech.Sci.
RSCI SPIN-code: 1592-7630
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

В статье предложено устройство для накопления энергии. Представлена схема для проведения численных расчётов в SimInTech. Система теплового накопления состоит из блока теплового накопителя (керамика) и различных типов теплоизоляции (вольфрамовые экраны и асбест). Численное моделирование основывалось на уравнениях теплопроводности, учитывающих свойства материалов системы накопления, такие как теплопроводность, плотность и теплоёмкость. Для теплоизоляции были использованы многослойные экраны. В исследовании изучалось влияние количества экранов теплоизоляции и производительности насоса на скорость нагрева и распределение температуры внутри системы накопления. Результаты показали, что увеличение количества экранов с 3 до 12 значительно сокращает время нагрева системы накопления и снижает теплотери (примерно на 30-35%). При увеличении расхода насоса в среднем на 0,07-0,1 время достижения максимальной температуры

This study performed a heat transfer calculation in an energy storage system using SimInTech software for dynamic modeling of technical processes. The thermal storage system consists of a heat storage block (ceramic) and various types of thermal insulation (tungsten screens and asbestos). The numerical modeling was based on heat conduction equations, which took into account the material properties of the storage system, such as thermal conductivity, density, and heat capacity. Multilayer insulation screens were used for thermal insulation. The study examined the effect of the number of insulation screens and pump performance on the heating rate and temperature distribution in the storage system. The research results showed that increasing the number of insulation screens from 3 to 12 significantly reduces the heating time and minimizes heat loss (by approximately 30-35%). Higher pump performance also reduces the time to reach the maximum temperature by 7-10%. Achieving thermodynamic equilibrium indicates system stability, which is especially important for

поверхности керамического блока увеличивается. Достижение термодинамического равновесия указывает на стабильность системы, что особенно важно для её длительной эксплуатации в агропромышленном секторе. Численное моделирование позволяет более точно прогнозировать характеристики системы и оптимизировать её конструкцию для повышения энергоэффективности

long-term operation in the agro-industrial sector

Ключевые слова: АККУМУЛЯЦИЯ ТЕПЛА, ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ, МОДЕЛИРОВАНИЕ, ПРОГРАММНЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ SIMINTECH, ТЕПЛИЧНОЕ ХОЗЯЙСТВО, ТЕПЛОВОЙ АККУМУЛЯТОР

Keywords: HEAT ACCUMULATION, NUMERICAL ANALYSIS, MODELING, SIMINTECH SOFTWARE TOOLS, GREENHOUSE FARMING, THERMAL ACCUMULATOR

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-204-033>

Введение. Современное сельское хозяйство все более ориентируется на внедрение энергоэффективных технологий, обеспечивающих стабильное развитие в условиях изменяющегося климата и ресурсных ограничений. Важнейшим аспектом становится управление тепловыми потоками для обеспечения оптимальных условий роста сельскохозяйственных культур в различных климатических зонах. Это требует разработки систем, способных аккумулировать избыточную тепловую энергию и затем эффективно распределять её в нужные моменты. Такой подход не только повышает урожайность, но и снижает затраты на энергоресурсы, что является ключевым фактором для устойчивого развития агропромышленного сектора.

Тепловые накопители энергии являются важным элементом для управления температурными режимами. Они позволяют интегрировать различные источники тепла, такие как солнечная энергия или остаточное тепло от промышленных процессов, и обеспечивать равномерное распределение тепловой энергии в периодах с высоким спросом. Прогрессивные технологии моделирования и оптимизации дают возможность разработчикам создавать эффективные конструкции тепловых накопителей, которые не только обеспечивают стабильность тепловых процессов, но и способствуют снижению воздействия на

<http://ej.kubagro.ru/2024/10/pdf/33.pdf>

окружающую среду за счет сокращения выбросов углекислого газа и экономии топлива.

Одной из ключевых задач при проектировании таких систем становится правильная оценка и прогнозирование тепловых характеристик. Математическое моделирование и программное обеспечение для моделирования динамики тепловых процессов позволяют изучать сложные процессы с высокой точностью. В этом контексте численные методы приобретают особую актуальность, так как они позволяют исследовать различные сценарии работы накопителей и выбирать наиболее эффективные решения для реальных условий эксплуатации.

Состояние исследований и актуальность проблемы. Развитие тепловых накопителей энергии в последние годы привлекло значительное внимание исследователей, что обусловлено необходимостью повышения энергоэффективности и снижения зависимости от традиционных источников энергии. В литературе можно встретить многочисленные работы, посвященные различным аспектам функционирования таких систем: от выбора материалов с высокой теплоемкостью до разработки методов управления процессами теплопередачи. Важно отметить, что для многих накопителей характерна высокая степень интеграции с возобновляемыми источниками энергии, что способствует созданию устойчивых энергосистем.

Наибольший интерес представляют исследования, направленные на разработку моделей тепловых процессов, протекающих в системах хранения энергии. В частности, численные методы моделирования позволяют не только прогнозировать тепловые режимы работы, но и оптимизировать конфигурацию систем для достижения максимальной эффективности.

В последние годы особое внимание уделяется применению современных программных продуктов, таких как SimInTech, которые позволяют решать задачи моделирования тепловых процессов с использованием численных методов. Эти инструменты обеспечивают возможность точной оценки тепловых характеристик накопителей и их взаимодействия с другими элементами энергосистемы. При этом остаются открытыми вопросы выбора оптимальных параметров для различных условий эксплуатации, а также разработка методов регулирования, которые могли бы обеспечить максимальную эффективность работы накопителей.

Цель исследований. Целью работы является проведение численного исследования теплопередачи в тепловом накопителе энергии в среде динамического моделирования техническим систем SimInTech.

Материалы и методы исследований. Программный комплекс SimInTech позволяет проводить моделирование процессов теплопередачи в различных средах с высокой точностью. Для проведения исследований была построена модель накопителя энергии [1] в SimInTech. Для накопления тепловой энергии использовалась керамика (теплоаккумулятор). Дополнительно система включает несколько слоев теплоизоляции, что позволяет минимизировать потери тепла в окружающую среду.

При моделировании особое внимание уделялось созданию точной геометрии теплового накопителя с разделением на различные слои, что позволяет учитывать как внутренние, так и внешние процессы теплопередачи.

Процесс моделирования включал в себя несколько этапов: на первом этапе был задан начальный температурный режим системы, расход теплоносителя (олова) G , варьируемый от 0,2 до 0,3 кг/с, на втором этапе проводилось вычисление распределения тепловых потоков, а на третьем

этапе выполнялся анализ изменения температуры в накопителе в зависимости от времени и внешних условий. При этом учитывались такие параметры, как теплопроводность материалов, плотность, теплоемкость, коэффициент теплоотдачи от накопителя энергии к окружающей среде ($10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$), давление на выходе из цилиндрического канала принималось равным атмосферному.

В качестве теплоносителя использовалось олово, которое циркулировало в центральной трубе системы 2 (рис. 1). В ходе моделирования также учитывались процессы теплопередачи через слои накопителя и изоляции, что позволило получить полную картину распределения тепловых потоков в системе.

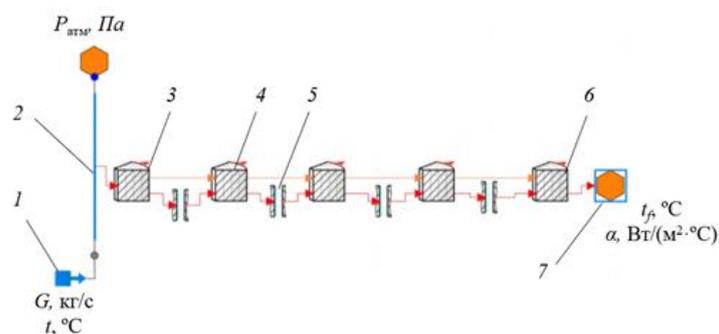


Рисунок 1 – Расчетная схема в SimInTech для проведения численного моделирования:

1 – циркуляционный насос; 2 – цилиндрический канал; 3 – теплоаккумулятор; 4 – экраны; 5 – прослойки газа; 6 – асбест; 7 – окружающая среда

Результаты исследований. В ходе численного моделирования в среде динамического моделирования техническим систем SimInTech были получены зависимости температуры поверхности теплоаккумулятора t_w от времени передачи тепловой энергии тепловому накопителю энергии (рис. 2 и рис. 3). Результаты расчетов показали, что скорость нагрева теплоаккумулятора t_w можно разделить на два временных периода: 1) происходит максимально быстрое изменение температуры теплоаккумулятора; 2) температура теплоаккумулятора с течением времени стремится к некоторому постоянному значению. Максимальная

скорость изменения нагрева теплоаккумулятора t_w (рис. 2) происходит в промежуток времени от 0 до 177, от 0 до 150 и от 0 до 147 ч при количестве теплоизоляционных экранов 3, 8 и 12 шт. соответственно ($G = 0,2$ кг/с). При увеличении производительности МГД-насоса до 0,3 кг/с максимальная скорость нагрева теплоаккумулятора t_w (рис. 3) наблюдается в промежуток времени от 0 до 166, от 0 до 141 и от 0 до 147 ч при количестве теплоизоляционных экранов 3, 8 и 12 шт. соответственно ($G = 0,2$ кг/с).

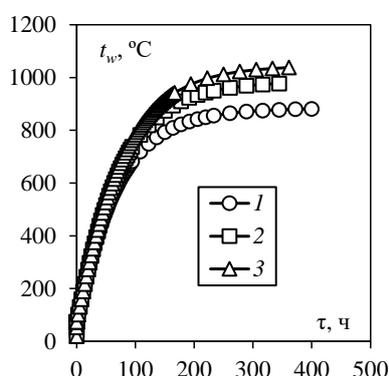


Рисунок 2 – Изменение температуры поверхности теплоаккумулятора от времени нагрева накопителя энергии (Количество экранов в теплоизоляции, шт.: 1 – 3; 2 – 8; 3 – 12). Производительность МГД-насоса – 0,2 кг/с

Анализ графиков, представленных на рисунках 2 и 3, показывает, что при увеличении числа теплоизоляционных экранов время достижения максимальной температуры сокращается. Это обусловлено улучшенными теплоизоляционными свойствами системы, которые позволяют минимизировать потери тепла и повысить эффективность его накопления.

Применение большего числа экранов (12 шт.) позволяет быстрее достичь равновесного состояния, что подтверждает важность многослойной теплоизоляции для повышения эффективности работы теплового накопителя. Эти результаты показывают значительное влияние параметров изоляции и мощности насоса на процесс аккумуляции и дальнейшего использования тепла.

Равновесное состояние, которое достигается во втором периоде нагрева теплоаккумулятора, является важным показателем стабильности работы системы. В этот момент температура теплоаккумулятора перестает значительно изменяться, что свидетельствует о том, что система достигает определенной термодинамической стабильности. Это состояние указывает на баланс между количеством тепловой энергии, передаваемой в накопитель, и её потерями через теплоизоляцию в окружающую среду. На практике это равновесное состояние важно для понимания того, сколько тепловой энергии может быть аккумулировано в системе до достижения предела её эффективности.

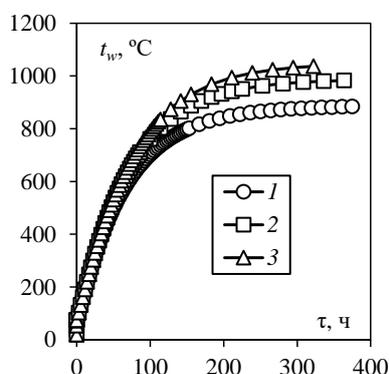


Рисунок 3 – Изменение температуры поверхности теплоаккумулятора от времени нагрева накопителя энергии (Количество экранов в теплоизоляции, шт.: 1 – 3; 2 – 8; 3 – 12). Производительность МГД-насоса – 0,3 кг/с

Достижение равновесного состояния может свидетельствовать о том, что теплоаккумулятор работает в своем оптимальном режиме, когда тепловые потери минимальны, а отдача тепла происходит равномерно и стабильно. Это особенно важно для систем, предназначенных для долгосрочного использования, таких как тепловые накопители в сельском хозяйстве. В таких условиях накопитель должен не только накапливать тепло, но и удерживать его как можно дольше, чтобы в нужный момент обеспечить равномерное и продолжительное распределение тепловой энергии для нужд сельскохозяйственного производства, например, для

обогрева теплиц или поддержания температуры в животноводческих комплексах.

Проведенное численное моделирование демонстрирует, что правильный выбор материалов и оптимизация конструктивных параметров системы способны существенно улучшить тепловые характеристики накопителя и обеспечить его эффективную эксплуатацию в условиях агропромышленного сектора.

Выводы. 1. Результаты численного моделирования показали, что увеличение количества теплоизоляционных экранов с 3 до 12 шт. сокращает время достижения максимальной температуры поверхности теплоаккумулятора на 30-35%. Это существенно снижает теплотери и повышает эффективность работы системы. 2. При увеличении производительности насоса с 0,2 кг/с до 0,3 кг/с время достижения максимальной температуры сокращается на 7-10%, что демонстрирует необходимость выбора оптимального режима работы насоса для повышения энергоэффективности системы. 3. Достижение термодинамического равновесия свидетельствует о стабилизации работы накопителя. В этом состоянии система удерживает накопленное тепло с минимальными потерями. Это равновесие важно для долгосрочной работы накопителей в сельском хозяйстве, обеспечивая стабильное тепловое снабжение, например, для обогрева теплиц.

Библиографический список

1. Зинуров, В. Э. Использование теплового накопителя энергии для обогрева теплиц с использованием солнечных панелей / В. Э. Зинуров, А. Н. Чадаев, К. И. Разакова // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2024. – № 201. – С. 90-97.

References

1. Zinurov, V. Je. Ispol'zovanie teplovogo nakopitelja jenergii dlja obogreva teplic s ispol'zovaniem solnechnyh panelej / V. Je. Zinurov, A. N. Chadaev, K. I. Razakova //

Politematicheskij setevoj jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 201. – S. 90-97.