

УДК 621.928.6

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

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВА ТЕПЛООВОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ТЕПЛИЧНОГО ХОЗЯЙСТВА

Зинуров Вадим Эдуардович

Канд. техн. наук

SPIN – код автора: 1564-3438

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Антонов Максим Александрович

Исполнительный директор

ООО «Каюм Эдишн», Набережные Челны, Россия

Чадаев Алексей Николаевич

Аспирант

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Атлы Виктория Салиховна

Студент

Казанский государственный энергетический университет, Казань, Россия

Энергоэффективность тепличных хозяйств становится всё более важной задачей в условиях увеличивающихся затрат на энергоресурсы и необходимости перехода на возобновляемые источники энергии. В статье рассматривается численное моделирование процесса нагрева теплового накопителя энергии, применяемого для повышения энергоэффективности тепличных хозяйств. Тепловой накопитель состоит из сверхвысокотемпературной керамики и многослойной теплоизоляции, включающей в себя вольфрамовые экраны и асбест. Основным теплоносителем в системе является олово, циркулирующее с расходом 0,3 кг/с и начальной температурой 1700°C. Моделирование проводилось в программном комплексе SimInTech с использованием осесимметричной двухмерной модели, что позволило учесть тепловые потери и оценить эффективность различных конфигураций системы. Особое внимание уделялось количеству вольфрамовых экранов, обеспечивающих теплоизоляцию. Рассматривались три варианта: с 3, 8 и 12 экранами. В ходе исследования было выявлено, что увеличение количества экранов замедляет рост температуры стенки изоляции, продлевая процесс аккумуляции тепла и снижая тепловые потери. Моделирование также

UDC 621.928.6

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

NUMERICAL MODELING OF THE HEATING PROCESS OF A THERMAL ENERGY STORAGE SYSTEM FOR GREENHOUSE FARMING

Zinurov Vadim Eduardovich

Cand.Tech.Sci.

RSCI SPIN-code: 1564-3438

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Antonov Maksim Aleksandrovich

Executive Director

LLC "Kayum Edition", Naberezhnye Chelny, Russia

Chadaev Alexey Nikolaevich

Post graduate student

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Atly Viktoriya Salikhovna

Student

Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Energy efficiency in greenhouse farming is becoming an increasingly important challenge due to rising energy costs and the need to transition to renewable energy sources. This article presents a numerical simulation of the heating process of a thermal energy storage system used to improve the energy efficiency of greenhouses. The thermal storage system consists of ultra-high-temperature ceramics and a multilayer insulation that includes tungsten screens and asbestos. The primary heat transfer fluid in the system is tin, circulating at a flow rate of 0.3 kg/s and an initial temperature of 1700°C. The simulation was carried out in the SimInTech software package using a two-dimensional axisymmetric model, which allowed for the consideration of heat losses and evaluation of the efficiency of different system configurations. Special attention was given to the number of tungsten screens providing thermal insulation. Three configurations were considered: with 3, 8, and 12 screens. The study revealed that increasing the number of screens slows down the rise in insulation wall temperature, extending the heat accumulation process and reducing heat losses. The simulation also enabled the prediction of the system's time to reach steady-state conditions, which corresponds to the full charging of the thermal storage system. The results showed that with 12 screens, the system reaches a steady state in 155

позволило спрогнозировать время выхода системы на стационарное состояние, что соответствует полному заряду теплового накопителя. Результаты показали, что при 12 экранах стационарное состояние наступает через 155 часов, тогда как при 3 экранах это время составляет около 202 часов. Предложенная методика моделирования позволяет оценивать тепловые характеристики накопителя и прогнозировать его поведение в различных режимах эксплуатации

Ключевые слова: ТЕПЛОВОЙ НАКОПИТЕЛЬ, ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ, ОЛОВО, ТЕПЛИЧНОЕ ХОЗЯЙСТВО, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, SIMINTECH, ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ, ВОЛЬФРАМОВЫЕ ЭКРАНЫ, ЭНЕРГИЯ

hours, whereas with 3 screens, it takes about 202 hours. The proposed simulation methodology allows for the evaluation of the thermal performance of the storage system and forecasting its behavior under various operating conditions

Keywords: THERMAL ENERGY STORAGE, HIGH-TEMPERATURE HEAT TRANSFER FLUID, TIN, GREENHOUSE FARMING, NUMERICAL MODELING, SIMINTECH, THERMAL INSULATION, TUNGSTEN SCREENS, ENERGY

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-203-019>

Введение. Энергетическая эффективность в сельском хозяйстве является одним из ключевых аспектов, влияющих на рентабельность и устойчивость агропромышленных предприятий. Увеличение спроса на тепличные комплексы диктует необходимость поиска новых подходов к энергообеспечению, учитывающих сезонные колебания и погодные условия. В связи с этим разработка решений для аккумуляции тепловой энергии становится важным направлением исследований. Это связано с тем, что стабильное поддержание температурного режима в теплицах позволяет увеличивать урожайность и продлевать вегетационный период, что особенно актуально для регионов с суровым климатом.

Традиционные методы поддержания температуры в тепличных хозяйствах включают в себя использование углеводородного топлива и электроэнергии, однако растущие затраты на энергоресурсы и их воздействие на окружающую среду подталкивают к внедрению альтернативных технологий. В этом контексте тепловые накопители играют ключевую роль, обеспечивая возможность хранения избыточной энергии и её использования в периоды повышенной потребности.

<http://ej.kubagro.ru/2024/09/pdf/19.pdf>

Применение таких технологий позволяет значительно снизить затраты на отопление и повысить экологическую безопасность тепличных хозяйств.

Эффективное управление ресурсами, включая теплоэнергию, напрямую связано с возможностями снижения эксплуатационных расходов и повышения общей производительности сельскохозяйственных объектов. Современные разработки в области накопления тепловой энергии предлагают инновационные подходы, позволяющие аккумулировать и рационально использовать энергию, создавая потенциал для более широкого внедрения в различных областях агропромышленного комплекса.

Состояние исследований и актуальность проблемы.

Исследования в области накопления тепловой энергии для нужд сельского хозяйства начали активно развиваться в последние десятилетия, в связи с потребностью в повышении энергоэффективности и снижении зависимости от традиционных источников топлива. Основное внимание уделяется поиску и созданию материалов и технологий, способных накапливать тепло с минимальными потерями и эффективно его распределять по заданным областям. Такие системы позволяют поддерживать оптимальные условия для роста растений в теплицах, что особенно важно для регионов с переменным климатом.

Тепловые накопители нашли широкое применение в различных отраслях, включая промышленное производство и энергетику, однако их адаптация для нужд сельского хозяйства требует учета специфики работы тепличных комплексов. Оптимизация процессов аккумулирования и передачи тепла, выбор материалов, способных выдерживать экстремальные температуры, а также разработка эффективных схем циркуляции теплоносителей – это задачи, которые продолжают оставаться в центре научных и инженерных исследований [1].

Наряду с этим, актуальность проблемы связана с экологическими и экономическими вызовами. Постоянный рост цен на энергоносители стимулирует поиск решений, которые позволяют использовать возобновляемые источники энергии, такие как солнечные и геотермальные системы. В сочетании с тепловыми накопителями они способны создать устойчивую и экологически чистую систему энергообеспечения для тепличных хозяйств. Достижения в данной области открывают новые возможности для повышения конкурентоспособности агропромышленного сектора и улучшения экологической ситуации.

Применение доступных технологий накопления тепла позволяет повысить независимость от внешних поставщиков энергии и увеличить рентабельность хозяйственной деятельности, особенно в удалённых регионах с ограниченным доступом к традиционным источникам энергии.

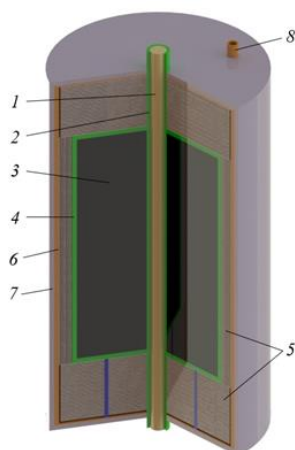


Рисунок 1 – Тепловой накопитель энергии (TES): 1 – теплоноситель; 2 – канал; 3 – аккумулятор тепловой энергии; 4 – корпус; 5, 6 – слои теплоизоляции; 7 – обечайка; 8 – патрубок

В данной статье предлагается накопитель энергии, представленный на рисунке 1. Его работа основана на использовании высокотемпературного теплоносителя (олово) и материалов, способных выдерживать экстремальные температуры. Основным элементом системы – теплоаккумулятор, выполненный из сверхвысокотемпературной керамики,

который аккумулирует тепло и медленно его отдает, обеспечивая стабильную работу системы даже при циклических нагрузках. Внутри накопителя расположены два слоя теплоизоляции: первый слой — экраны из вольфрама с аргоном, предотвращающие тепловое излучение и окисление; второй — асбестовый, сохраняющий тепло и выдерживающий высокие температуры.

Авторами предлагается использовать накопитель энергии (рис. 1) в схеме (рис. 2) для обогрева тепличного хозяйства.

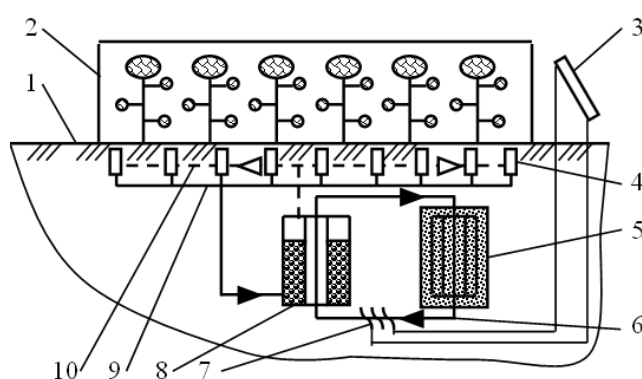


Рисунок 2 – Применение TES для обогрева тепличного хозяйства: 1 – грунт; 2 – тепличное хозяйство; 3 – солнечные батареи; 4 – тепловые трубы; 5 – TES; 6 – олово; 7 – МГД насос и ТЭНы; 8 – теплообменный аппарат; 9, 10 – трубы для циркуляции воды и пара соответственно

В предложенной схеме система включает два контура для эффективного аккумулирования и передачи тепловой энергии. В первом контуре олово нагревается до 1500-2000°С с помощью избыточной электроэнергии, вырабатываемой солнечными панелями. Нагретое олово циркулирует по системе при помощи электромагнитного насоса, предотвращающего механический износ. Во втором контуре вода нагревается через теплообменник, превращаясь в пар, который используется для обогрева почвы под теплицей. Пар поднимается по трубам, отапливая теплицу, затем конденсируется и возвращается в теплообменник, создавая замкнутый цикл обогрева.

Цель исследований. Целью работы является численное моделирование теплового накопителя энергии, использующего высокотемпературный теплоноситель для эффективного обогрева тепличных хозяйств.

Материалы и методы исследований. Для проведения исследований процесса нагрева теплового накопителя энергии использовалось численное моделирование с применением программного комплекса SimInTech. В модели использовался двухмерный осесимметричный подход, что позволило учесть характерные особенности теплообмена в системе. Основное внимание уделялось моделированию работы накопителя при использовании высокотемпературного теплоносителя – олова, циркулирующего по системе.

Для расчета задавался начальный расход теплоносителя в размере 0,3 кг/с, что соответствовало реальным условиям эксплуатации. Исходная температура олова была установлена на уровне 1700°C, что характерно для работы системы при высоких температурах. Важным параметром, используемым в моделировании, была степень черноты материала, которая для олова составляла 0,8.

Моделирование проводилось в нестационарном режиме с учетом динамики изменения температуры олова по мере его движения по вертикальной трубе. Учитывалось осесимметричное распределение тепла в теплоаккумуляторе, что отражало характерную геометрию накопителя. По мере движения олова его температура снижалась за счет передачи тепла к керамическому теплоаккумулятору. На выходе из трубы задавалось атмосферное давление, что соответствовало реальным условиям работы системы.

Особое внимание в ходе моделирования уделялось изучению влияния количества вольфрамовых экранов, используемых для теплоизоляции. Исследовалось изменение их числа от 3 до 12 штук, что

позволило определить оптимальное количество экранов для минимизации тепловых потерь и повышения эффективности системы.

Результаты исследований. На основе проведённого моделирования были получены данные о зависимости температуры стенки изоляции теплового накопителя от времени нагрева при различном количестве вольфрамовых экранов в теплоизоляции (рис. 3). Было рассмотрено три варианта: с 3, 8 и 12 вольфрамовыми экранами, что позволило выявить влияние количества экранов на эффективность теплоизоляции.

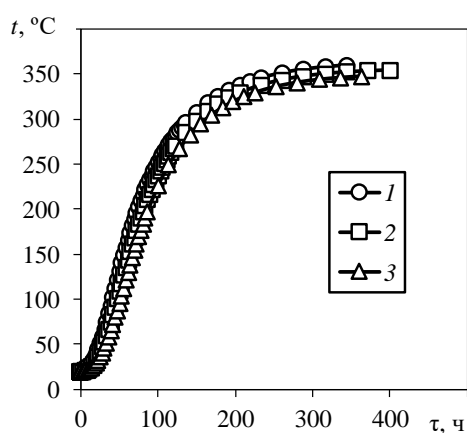


Рисунок 3 – Зависимость температуры стенки изоляции от времени нагрева при различном количестве вольфрамовых экранов в теплоизоляции, шт.: 1 – 3; 2 – 8; 3 – 12

Анализ результатов показал, что при увеличении числа экранов температура стенки изоляции растёт медленнее. Это объясняется тем, что экраны эффективно предотвращают тепловое излучение и снижают потери тепла за счёт многослойной структуры с аргонном, обладающим низкой теплопроводностью.

По графику можно определить момент выхода системы на стационарный режим, который соответствует полному заряду теплоаккумулятора. Стационарное состояние наступает, когда температура стенки изоляции стабилизируется и перестает существенно изменяться с течением времени, что указывает на завершение процесса аккумуляции тепла. Время выхода на стационарное состояние

составляет около 202, 197 и 155 ч при 3, 8 и 12 экранов в тепловом накопителе энергии соответственно.

Выводы. 1. Предложенная схема расчета в программном комплексе SimInTech позволила эффективно спрогнозировать процесс нагрева теплового накопителя энергии, а также оценить влияние количества вольфрамовых экранов на динамику изменения температуры стенки изоляции. 2. Исследование показало, что увеличение количества вольфрамовых экранов значительно замедляет рост температуры стенки изоляции, что позволяет продлить процесс аккумуляции тепла и улучшить теплоизоляционные свойства системы. 3. Время выхода на стационарное состояние уменьшается с увеличением количества экранов.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-29-20061, <https://rscf.ru/project/24-29-20061/>.

Библиографический список

1. Zinurov, V. Assessment of thermal storage technologies in Energy sector / V. Zinurov, M. Nikandrova, V. Kharkov // Proceedings of the 2020 Ural Smart Energy Conference, USEC 2020, Ekaterinburg, 13–15 ноября 2020 года. – Ekaterinburg, 2020. – P. 68-71. – DOI 10.1109/USEC50097.2020.9281236.

References

1. Zinurov, V. Assessment of thermal storage technologies in Energy sector / V. Zinurov, M. Nikandrova, V. Kharkov // Proceedings of the 2020 Ural Smart Energy Conference, USEC 2020, Ekaterinburg, 13–15 ноября 2020 года. – Ekaterinburg, 2020. – P. 68-71. – DOI 10.1109/USEC50097.2020.9281236.