

## FEATURES OF EXECUTING REPAIR WORK TO RESTORE A VERTICAL STEEL TANK WITH A PONTON ROOF

**Yu.N. Moskvina, A.A. Melnikov**

***Abstract.** This article examines the main types of damage typical for vertical steel tanks, as well as repair technologies. Modern methods for tank diagnostics and load-bearing capacity assessment are analyzed.*

***Keywords:** repair and restoration work, tank, pontoon, corrosion, ultrasonic flaw detection, technology.*

Об авторах:

МОСКВИНА Юлия Николаевна – кандидат философских наук, доцент кафедры конструкций и сооружений, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: julim@yandex.ru

МЕЛЬНИКОВ Артем Александрович – магистрант, ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь. E-mail: Neryose@yandex.ru

About the authors:

MOSKVINA Yulia Nikolaevna – Candidate of Philosophical Sciences, Associate Professor of the Department of Constructions and Structures, Tver State Technical University, Tver. E-mail: julim@yandex.ru

MELNIKOV Artem Alexandrovich – Master's Student, Tver State Technical University, Tver. E-mail: Neryose@yandex.ru

УДК 699.865

## ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПЕРЕКРЫТИЯ С ТЕПЛОАККУМУЛИРУЮЩЕЙ СИСТЕМОЙ НАПОЛЬНОГО ОТОПЛЕНИЯ

**Д.В. Тараненко, А.М. Жжонных**

© Тараненко Д.В., Жжонных А.М., 2026

***Аннотация.** Статья посвящена анализу тепловых характеристик композитной конструкции перекрытия с теплоаккумулирующим материалом посредством моделирования теплопередачи с изучением особенностей динамики фазовых переходов во время циклов накопления и отдачи тепла. Предварительные результаты показывают, что*

сочетание напольного отопления и материала с изменяющимся фазовым состоянием позволяет добиться перераспределения тепловых потоков и снизить энергопотребление.

**Ключевые слова:** энергосбережение, напольное отопление, теплый пол, аккумулятор теплоты, фазовый переход.

В настоящей статье рассмотрена объединенная конструкция перекрытия, состоящая из традиционных строительных материалов и материала, обладающего фазовыми переходами 1-го рода. За счет теплоты плавления и кристаллизации данного материала видится возможным уменьшить время работы или мощность напольного отопления, которые необходимы для поддержания комфортной температуры в течение суток, а также получить дополнительную экономию при расчете электроэнергии по двухставочному тарифу и при использовании комбинированных электроводяных полов в ночное время суток.

Математическое моделирование нестационарной теплопередачи осуществлено в программном комплексе COMSOL Multiphysics с использованием уравнений в частных производных и метода конечных элементов для их решения. Для расчета тепломассопереноса в среде с фазовыми переходами применен метод эффективной теплоемкости [1].

В указанном методе эффективная теплоемкость, являющаяся функцией температуры и включающая как явную, так и скрытую теплоту фазового перехода, заменяет удельную теплоемкость в уравнении теплопроводности для одного материала. Таким образом, фазовый переход «преобразуется» в нелинейную задачу теплопередачи, при этом теплота фазового перехода учитывается в составе теплоемкости.

Конструкция перекрытия подвала показана на рис. 1. Шаг труб и расстояние до верха стяжки приняты в соответствии с рекомендациями производителя.



Рис. 1. Схема перекрытия с размещением МИФС над стяжкой (составлена авторами)

В качестве граничных условий для верхней и нижней поверхностей конструкции заданы температуры 18 и 5 °С и коэффициенты теплоотдачи 8,7 и 12 Вт/(м<sup>2</sup> · °С) соответственно [2–5]. Температура поверхности труб при работе теплого пола принята равной температуре теплоносителя, в ином случае реализовано адиабатическое условие. На боковых поверхностях фрагмента конструкции теплообмен не происходит. Коэффициент излучения для напольного покрытия составляет 0,94.

Согласно предварительному распределению температур в перекрытии, в качестве материала с МИФС следует выбрать коммерческую марку RT22НС. Основная часть энтальпии кристаллизации и плавления данного материала находится в температурном диапазоне от 20 до 23 °С [5].

Шаг сетки и шаг по времени проанализированы на независимость определения фракции во время смены фазы. Рассмотрены равносторонние треугольные элементы с размерами сторон 3, 2, 1 и 0,5 мм (показано на рис. 2, где фаза 1 – твердое тело, фаза 0 – жидкость).

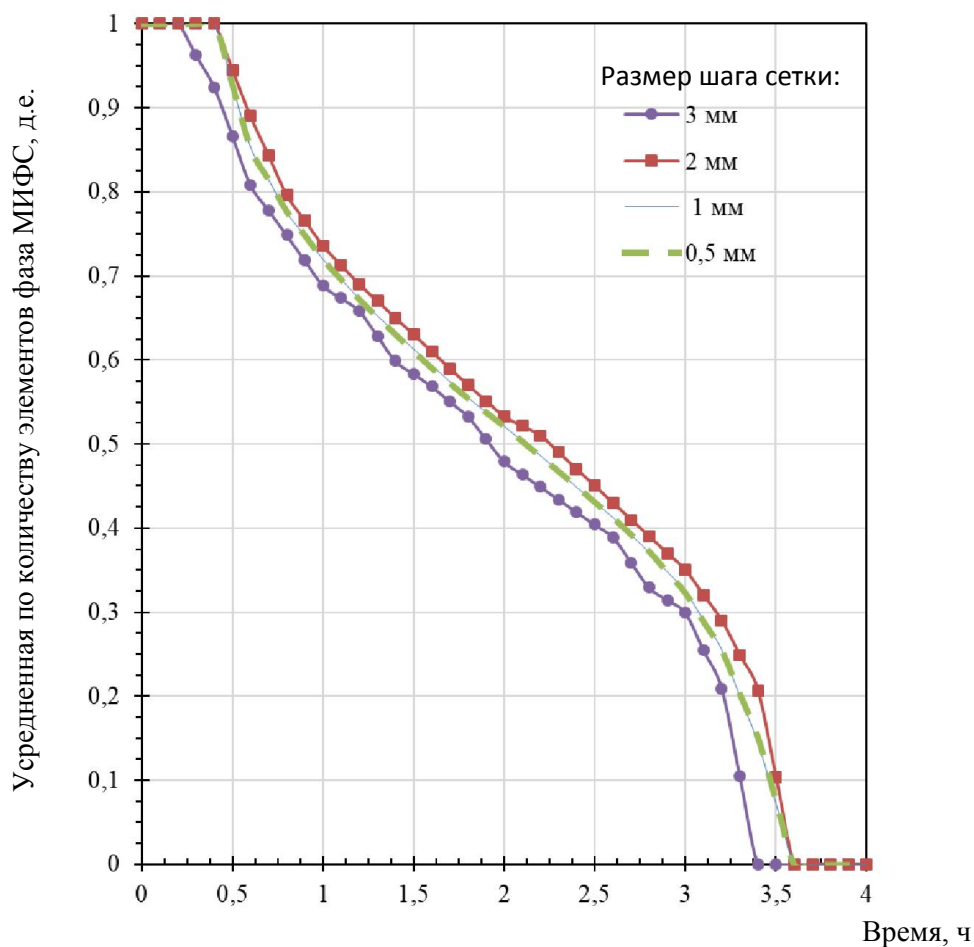


Рис. 2. Результаты треугольной триангуляции (шаг по времени 12 мин)

Средняя ошибка в определении фракции при шаге 1 мм составляет менее 0,5 % по сравнению с шагом 0,5 мм, а расхождение в полученных кривых для шага 2 мм и 1 мм – 7,4 %, поэтому далее использована сетка с размерами элементов 1 мм. Аналогично временной шаг установлен равным 12 мин.

В целях изучения механизма влияния температуры нагрева, толщины МИФС, а также времени работы теплого пола поочередно смоделированы различные группы случаев с тремя параметрами для сравнения у каждого случая. Сравнимые параметры: температура поверхности пола, тепловой поток с поверхности и количество жидкой фазы (таблица).

#### Описание условий

| Группа случаев            | Номер случая | Толщина слоя МИФС $\delta$ , мм | Температура теплоносителя, °C | Время нагрева/охлаждения, ч |
|---------------------------|--------------|---------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Толщина МИФС              | 1            | 10                              | 50                            | 8/16                        |
|                           | 2            | 20                              | 50                            | 8/16                        |
|                           | 3            | 30                              | 50                            | 8/16                        |
| Температура теплоносителя | 4            | 20                              | 50                            | 8/16                        |
|                           | 5            | 20                              | 45                            | 8/16                        |
|                           | 6            | 20                              | 40                            | 8/16                        |
| Время нагрева             | 7            | 20                              | 50                            | 6/18                        |
|                           | 8            | 20                              | 50                            | 8/16                        |
|                           | 9            | 20                              | 50                            | 10/14                       |

Результаты для группы «Толщина МИФС» показаны на рис. 3.

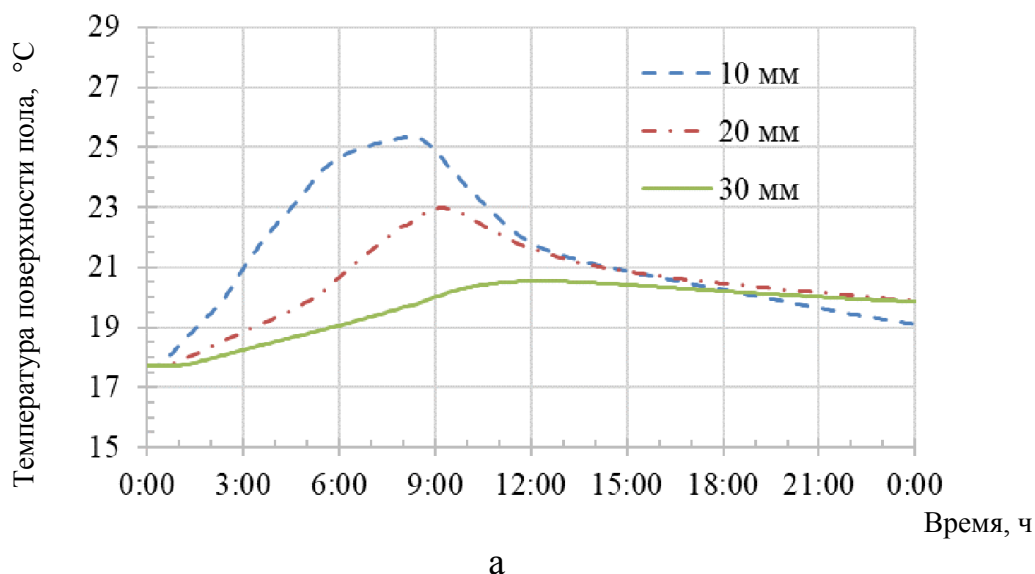


Рис. 3. Набор «Толщина МИФС» с параметрами: а – температура пола; б – тепловой поток; в – количество жидкой фазы

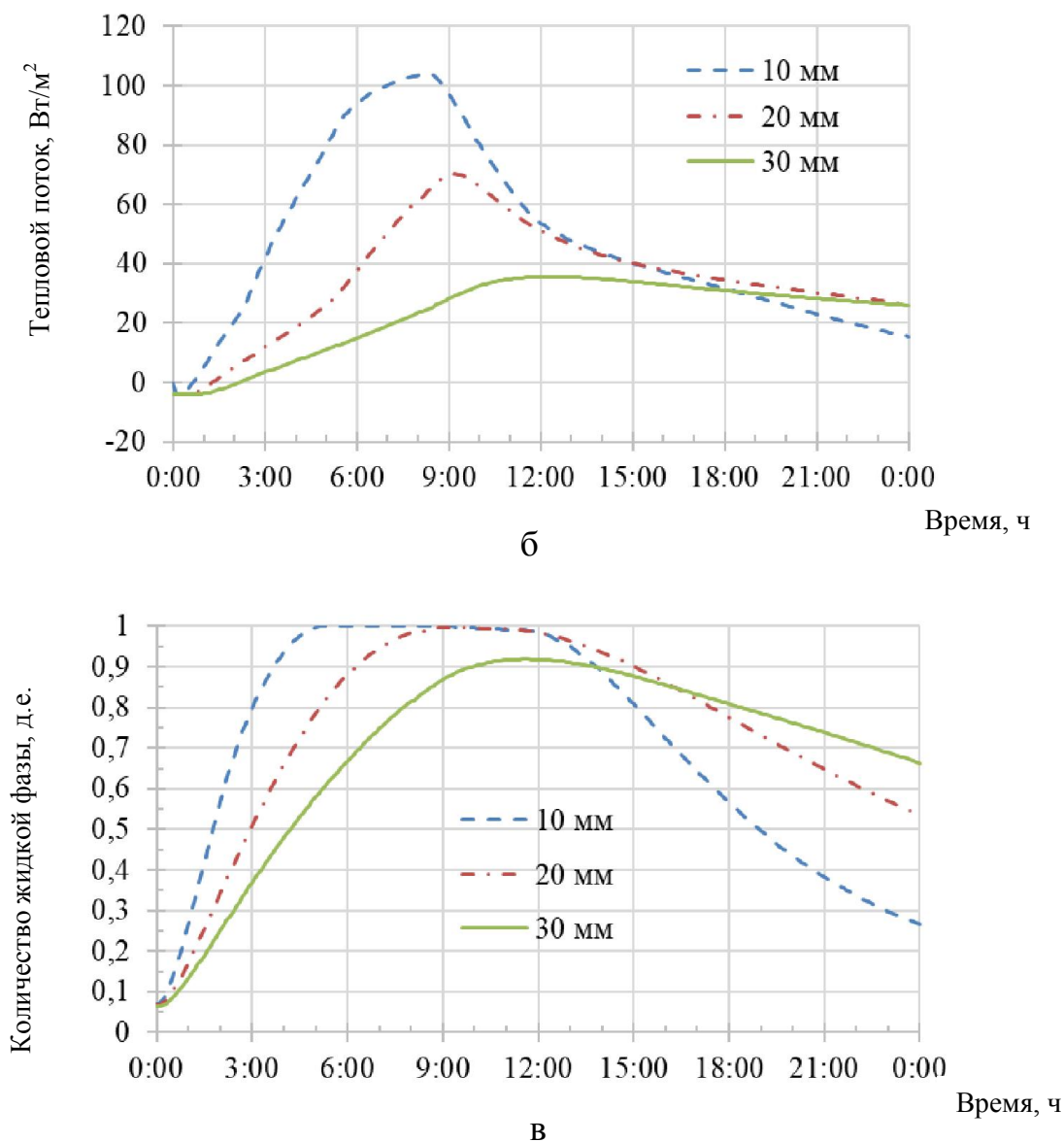
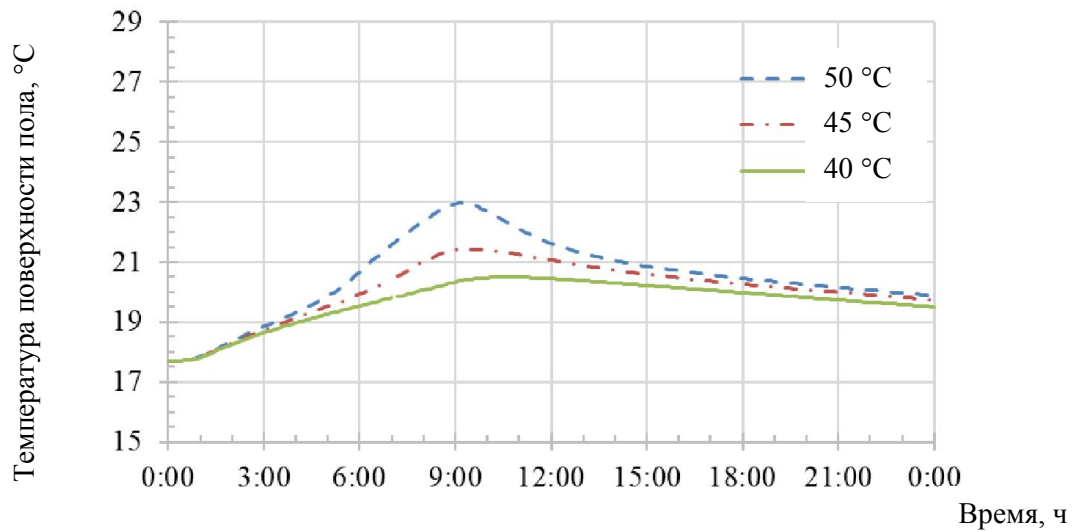


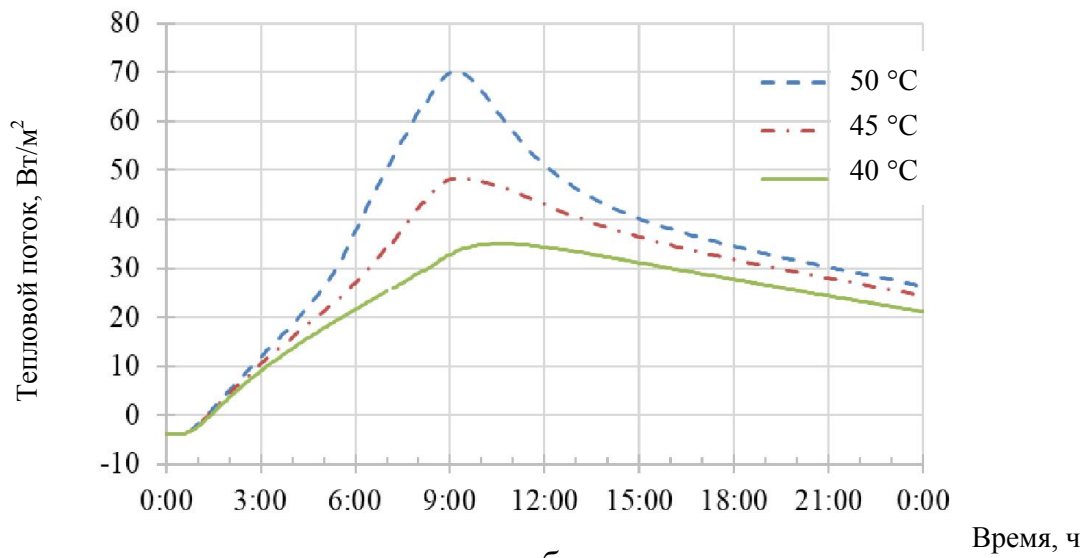
Рис. 3. Продолжение

При всех толщинах МИФС температура поверхности пола не превышает максимально допустимых  $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Меньшая толщина способствует более быстрому нагреву поверхности, но к началу следующих суток температура пола опускается до  $19,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Толщина слоя  $30\text{ мм}$  снижает скорость нагрева и температуру поверхности пола по сравнению с толщиной слоя  $20\text{ мм}$ , а также на  $9\%$  сокращает объем материала, используемый в фазовом переходе. Выбирая из критерия теплового комфорта, нужно остановиться на значении толщины слоя МИФС  $20\text{ мм}$ . В таком случае температура пола к началу следующих суток составит  $19,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

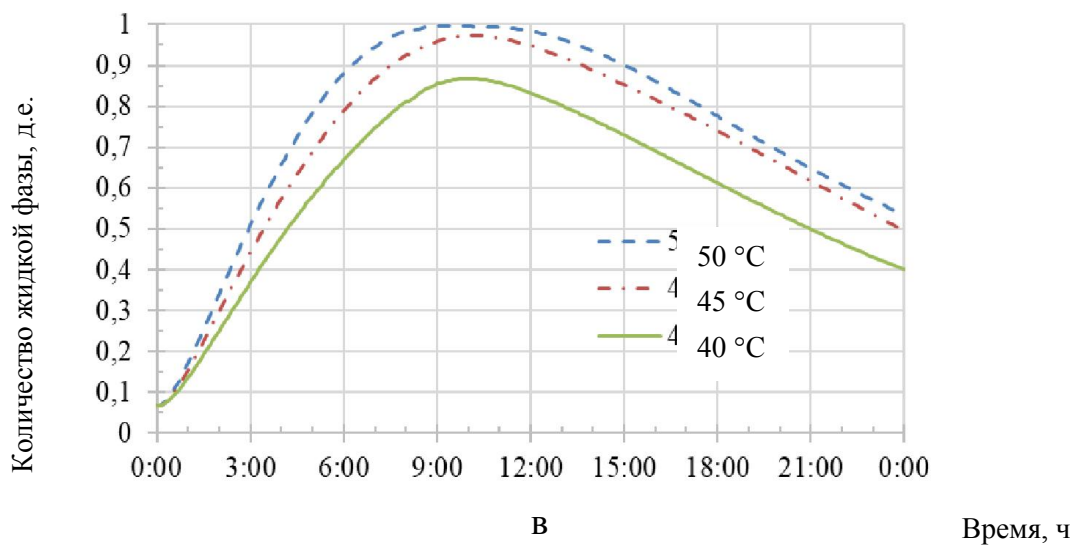
Результаты для группы «Температура теплоносителя» показаны на рис. 4.



а



б



в

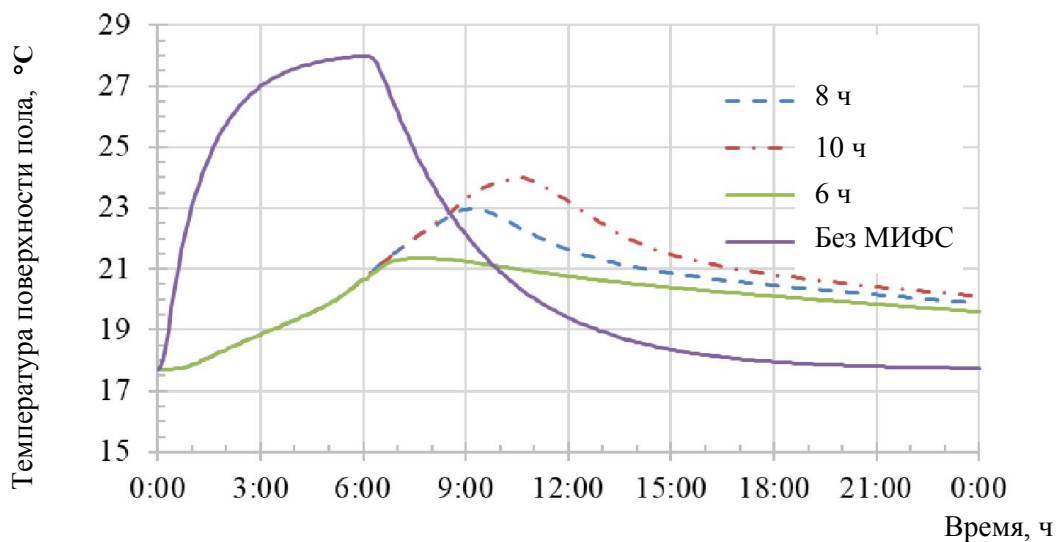
Рис. 4. Набор «Температура теплоносителя» с параметрами:  
а – температура пола; б – тепловой поток; в – количество жидкой фазы

При различной температуре теплоносителя тенденция плавления МИФС схожа: увеличение мощности нагрева приводит к увеличению скорости плавления. Как показано на графиках рис. 4, скорость плавления достигает максимального значения, когда температура теплоносителя составляет 50 °С. Максимальное за время расчета усредненное по площади слоя значение жидкой фракции равняется 1,0. Выделяемое трубами количество тепловой энергии при этом в 1,16 и 1,40 раза выше, а максимальное значение жидкой фракции – в 1,03 и 1,15 раза выше, чем в двух других случаях (с температурами 45 и 40 °С соответственно).

Можно дополнительно рассчитать эффективность нагрева поверхности пола посредством соотношения суммарного теплового потока, проходящего через поверхность пола за двадцатичетырехчасовой период, и суммарного теплового потока, проходящего через поверхность труб за время нагрева. Эффективность нагрева выше при температуре 50 °С (78,5 %). По мере уменьшения температуры воды эффективность нагрева снижается и при температуре 40 °С составляет 73,1 %.

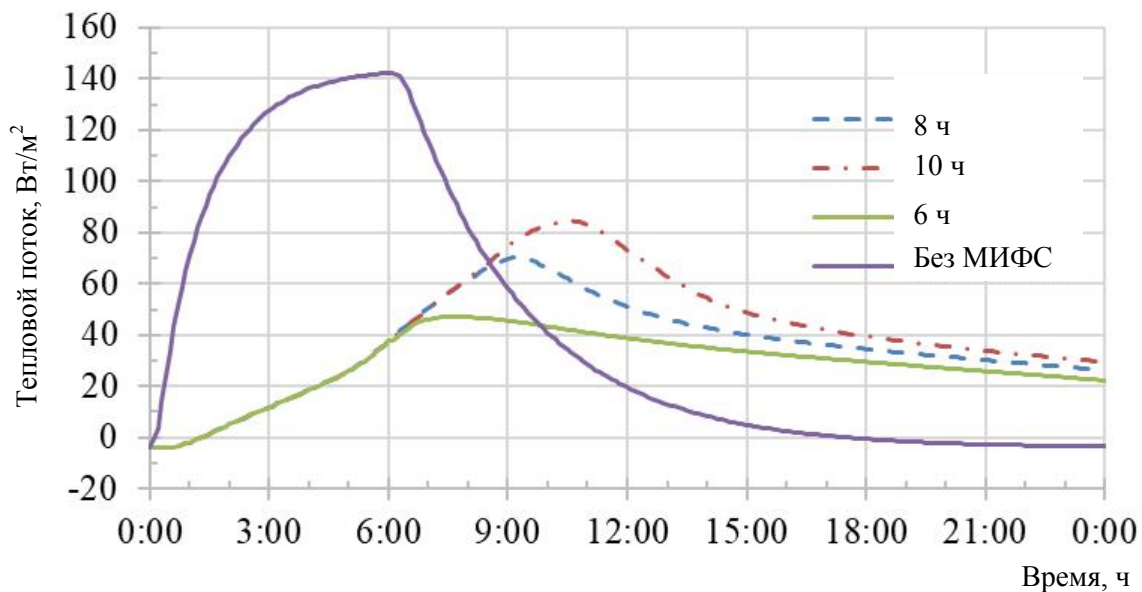
При температуре теплоносителя 50 °С получены большие значения температуры поверхности пола. Дальнейшие расчеты выполнены с данной температурой теплоносителя.

Результаты для группы «Время нагрева» показаны на рис. 5.

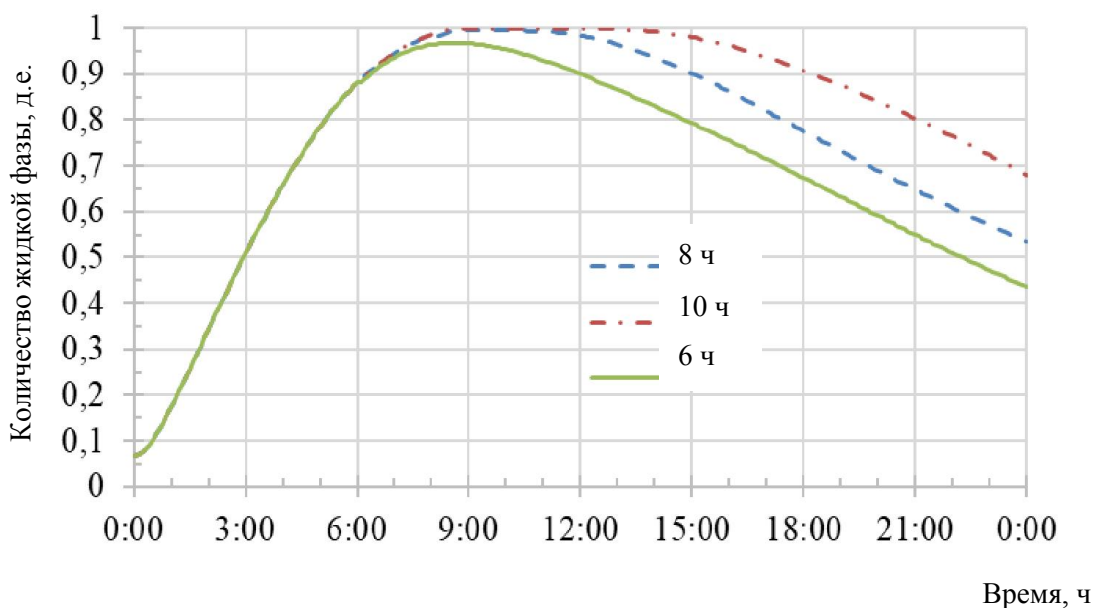


а

Рис. 5. Набор «Время нагрева» с параметрами: а – температура пола; б – тепловой поток; в – количество жидкой фазы



б



в

Рис. 5. Продолжение

Наблюдаются различия в процессе цикла отдачи тепла при различном времени нагрева. Через 5 ч после прекращения нагрева доля жидкой фракции составляет 0,98, 0,96 и 0,93 для десяти-, восьми- и шестичасового нагрева соответственно, а через 10 ч после завершения работы теплого пола – 0,84, 0,77 и 0,75 соответственно. Таким образом, снижение доли жидкой фракции при десятичасовом нагреве происходит медленнее.

Средние температуры поверхности пола после завершения нагрева и до начала следующих суток – 21,4 °С для десятичасового, 21,0 °С для восьмичасового и 20,4 °С для шестичасового нагрева.

Так как полученные значения температур являются комфортными, из соображений меньшего потребления энергии был выбран нагрев пола в течение 6 ч.

Дополнительно рассчитан вариант пола без слоя МИФС при 6 ч нагрева. В таком случае, во-первых, температура поверхности пола на 1,7 °С превышает максимально допустимую. Во-вторых, после прекращения нагрева наблюдается резкое охлаждение напольного покрытия до 17,7 °С.

Таким образом, использование МИФС позволяет аккумулировать избыток теплоты и сохранять комфортную температуру поверхности пола до начала следующих суток.

### **Библиографический список**

1. Study on Influencing Factors of Phase Transition Hysteresis in the Phase Change Energy Storage / D. Lu [et al.] // *Materials*. 2022. No. 15 (8), 2775.

2. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий // Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. URL: <https://www.minstroyrf.ru/docs/374252> (дата обращения: 26.10.2025).

3. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. М.: Стандартинформ, 2019. 21 с.

4. Об утверждении Правил и норм технической эксплуатации жилищного фонда (Правила № 170): постановление Госстроя РФ от 27.09.2003 № 170 // Информационно-правовой портал Гарант.РУ. URL: <https://base.garant.ru/12132859> (дата обращения: 26.10.2025).

5. Об обеспечении требуемого температурно-влажностного режима подвалов и технических подполий многоквартирного дома: письмо Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 02.12.2019 № 42191-ОГ/04 // Информационно-правовой портал Гарант.РУ. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73379481> (дата обращения: 26.10.2025).

6. RT22HC // Rubitherm. URL: [https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata\\_-RT22HC\\_EN\\_09102020.PDF](https://www.rubitherm.eu/media/products/datasheets/Techdata_-RT22HC_EN_09102020.PDF) (дата обращения: 26.10.2025).

# ENERGY-SAVING FLOOR STRUCTURE WITH A HEAT-ACCUMULATING UNDERFLOOR HEATING SYSTEM

**D.V. Taranenko, A.M. Zhzhonykh**

***Abstract.** This article analyzes the thermal performance of a composite floor structure with a heat-storage material using heat transfer modeling and a study of the dynamics of phase transitions during heat accumulation and release cycles. Preliminary results show that the combination of underfloor heating and a phase change material enables heat flow redistribution and reduced energy consumption.*

***Keywords:** energy saving, underfloor heating, underfloor heating, heat storage, phase transition.*

Об авторах:

ТАРАНЕНКО Дмитрий Васильевич – аспирант, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск. E-mail: dmitrij\_taranenko@mail.ru

ЖЖОНЫХ Алексей Максимович – старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», Красноярск. E-mail: AZhzhonykh@sfu-kras.ru

About the authors:

TARANENKO Dmitry Vasilyevich – Postgraduate Student, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: dmitrij\_taranenko@mail.ru

ZHZHONYKH Alexey Maksimovich – Senior Lecturer, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: AZhzhonykh@sfu-kras.ru