

УДК 662.997-534-4

DOI: [https://doi.org/10.52754/16948645_2025_2\(7\)_103](https://doi.org/10.52754/16948645_2025_2(7)_103)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТА ТРОМБЕ-МИШЕЛЯ В ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЯХ

Матисаков Туголбай Кубатбаевич

к.т.н., доцент

email: tmatissakov@oshsu.kg

Ошский государственный университет
723500, Ош, Кыргызская Республика

Ли Цзяфэй

магистрант ОшГУ,

email: li058955@oshsu.kg

Ошский государственный университет
723500, Ош, Кыргызская Республика

Аннотация. В данной статье рассматривается применение эффекта Тромба-Мишеля как элемента пассивного солнечного отопления зданий. Эффективность системы основана на математических моделях, учитывающих инсоляционные модели, нестационарный теплообмен и тепловой баланс помещения. Проведен сравнительный анализ материалов, широко используемых в теплоаккумулирующих стенах. Анализ проводился по критериям теплоемкости, теплопередачи, времени фазового сдвига тепловой волны и энергоэффективности. Показано, что выбор стенового материала оказывает существенное влияние на количество накопленной солнечной энергии и время ее передачи внутрь здания.

Ключевые слова: эффект Тромба-Мишеля, пассивное солнечное отопление, теплоаккумулирование, математическое моделирование, теплопередача, теплоемкость, энергосбережение.

A STUDY OF THE USE OF THE TROMB-MICHEL EFFECT IN ENERGY-EFFICIENT BUILDINGS

Matisakov Tugolbay Kubatbaevich

Ph.D., Associate Professor

email: tmatissakov@oshsu.kg

Osh State University
723500, Osh, Kyrgyz Republic

Li Jiafei

master's student at Osh State University,

email: li058955@oshsu.kg

Osh State University
723500, Osh, Kyrgyz Republic

Abstract. This article examines the Trombe–Michel effect as a component of passive solar heating in buildings. The system efficiency is analyzed using mathematical models that account for insolation patterns, transient heat transfer, and the thermal balance of indoor space. A comparative analysis of commonly used materials for heat-accumulating walls is conducted based on heat capacity, thermal conductivity, phase shift of heat waves, and overall energy efficiency. It is shown that the choice of wall material significantly influences both the amount of solar energy stored and the time required for its transfer into the building.

Keywords: Trombe–Michel effect, passive solar heating, thermal energy storage, mathematical modeling, heat transfer, heat capacity, energy efficiency.

Введение

Повышение энергоэффективности зданий является одной из главных задач современного строительства. Значительная часть общего энергопотребления приходится на системы отопления, особенно в регионах с длительным отопительным сезоном. В таких условиях роль пассивных солнечных систем возрастает, поскольку они позволяют использовать возобновляемую солнечную энергию без сложного инженерного оборудования, снижая эксплуатационные расходы и нагрузку на окружающую среду [1].

Одним из самых известных и эффективных решений для пассивного солнечного отопления является эффект Тромба-Мишеля. Этот эффект основан на использовании массивной теплоаккумулирующей стены, обычно расположенной за стеклом на южном фасаде здания. Несмотря на простоту конструкции, эффективность системы зависит от ряда факторов: геометрии остекления, режима инсоляции, климатических условий региона и, в частности, тепловых и физических свойств материала стены. Эффективность стены Тромба-Мишеля напрямую связана с количеством поступающей солнечной энергии [2].

Материалы и методы исследования

Применение эффекта Тромба-Мишеля в условиях Кыргызстана позволяет широко использовать здания в этой стране, поскольку Кыргызстан обладает высоким солнечным потенциалом благодаря своему географическому положению и большому количеству солнечных дней в году. Средняя продолжительность солнечного сияния в год составляет приблизительно 2100–2900 часов [3].

Суммарная годовая солнечная радиация в стране достигает приблизительно 1700–1800 кВт/м². По уровню инсоляции Кыргызстан превосходит многие европейские страны. Наибольший солнечный потенциал наблюдается в южных регионах Кыргызстана, в частности в Ошской, Баткенской и Джалал-Абадской областях [3].

Солнечная энергия может эффективно использоваться для выработки электроэнергии и солнечного отопления. Теоретический потенциал солнечной энергии оценивается в сотни тысяч мегаватт установленной мощности. Использование солнечной энергии особенно актуально для отдаленных и горных регионов.

Развитие солнечной энергетики помогает снизить зависимость от гидроэнергетики и сезонные колебания уровня воды. Поэтому солнечные ресурсы Кыргызстана являются важной основой для устойчивого развития энергетики страны.

Ключевым параметром является теплоаккумулирующая и теплопередающая стенка [4]. Анализ материалов с хорошими теплоудерживающими свойствами представлен в таблице 1.

Таблица 1. Теплофизические свойства строительных материалов [5-6]

№	Наименование строительного материала	ρ (ρ_0) — плотность, кг/м ³	c — удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К)	λ (лямбда) — коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)
1.	Тяжелый бетон	2500	880	1.7
2.	Керамический кирпич	1800	840	0.8
3.	Камень	2600	800	3.0
4.	Соломенный глинобетон	1700	1000	0.6
5.	Вода (контейнере)	1000	4180	0.6

Используя теплофизические свойства строительных материалов из Таблицы 1, суммарное количество накопленного тепла определяется по следующей формуле [7]:

$$Q = \rho c V \Delta T \quad (1)$$

Где Q — интегральное количество накопленного тепла, Дж; ρ — плотность материала, кг/м³; c — удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); V — объем стены Тромба-Мишеля, м³; ΔT — температура стены. Подставляя параметры материалов в формулу 1 в результатах расчета, получаем следующие результаты:

бетон — 6–8 часов;

кирпич — 8–10 часов;

камень — 5–6 часов;

солома — 10–12 часов;

вода — до 12–14 часов.

Результаты и обсуждения

При использовании материалов требуются различные условия, например, использование воды имеет проектные и эксплуатационные ограничения.

Результаты расчетов показали, что материал стены Тромба-Мишеля оказывает существенное влияние на количество накопленной энергии, время ее передачи и температурную стабильность помещения. Бетон и кирпич — универсальные материалы, обеспечивающие оптимальный баланс между прочностью и теплоаккумуляцией. Соломенный и глиняный бетон особенно эффективны в сухом климате. Вода обладает наибольшей теплоемкостью, но ее использование требует сложных конструктивных решений.

Проведенные исследования подтвердили эффективность эффекта Тромба-Мишеля на основе строгого математического моделирования. Анализ уравнений теплопередачи и теплового баланса показал, что использование теплоаккумулирующей стены значительно снижает теплопотери и сглаживает суточные колебания температуры. Сравнение различных материалов доказывает, что правильный выбор тепловых и физических свойств стены является ключевым фактором эффективности системы. Эффект Тромба-Мишеля можно считать научно обоснованным и перспективным решением для энергоэффективного строительства.

Выводы

Результаты исследования показали, что использование эффекта Тромба-Мишеля в энергоэффективных зданиях является эффективным пассивным методом теплоснабжения. На основе математического моделирования и теплового баланса было подтверждено, что эта система позволяет стабилизировать температурный режим внутри здания и значительно снизить теплопотери.

Было показано, что материал теплоаккумулирующей стены напрямую влияет на энергоэффективность системы. Теплоемкость, плотность и теплопроводность материалов являются основными факторами, определяющими количество накопленной энергии и время ее передачи в помещение. Расчеты показали, что бетон и керамический кирпич являются оптимальными материалами с точки зрения прочности, доступности и способности к теплоаккумуляции.

Природные материалы, такие как солома и саманный бетон, обеспечивают высокую тепловую инерцию в сухом и солнечном климате, а также являются экологически выгодной альтернативой. Хотя вода обладает наибольшей теплоемкостью, ее использование в стене Тромба-Мишеля оказалось конструктивно и эксплуатационно сложным.

С учетом климатических условий Кыргызстана, эффект Тромба-Мишеля можно считать перспективным и подходящим решением для широкого применения в энергосберегающем строительстве. Использование этого метода снижает зависимость от традиционных систем отопления, уменьшает эксплуатационные расходы и способствует эффективному использованию возобновляемых источников энергии.

Литература

1. Даффи Дж.А., Бекман В.А. Солнечная инженерия тепловых процессов. – Нью-Йорк: Wiley, 2013.
2. Тромбе Ф., Мишель Ж. Пассивные системы солнечного отопления зданий. – Солнечная энергия, 1974.
3. Атлас возобновляемых энергетических ресурсов Кыргызской Республики. – Бишкек: ПРООН, 2016.
4. Кривцов В.С., Охотин А.С. Пассивные системы солнечного отопления зданий. – Москва: Стройиздат, 2008.
5. Бутузов В.А. Теплофизика строительных материалов. – Москва: Издательство АСВ, 2010.
6. Справочник ASHRAE – Основы. – Атланта: ASHRAE, 2021.
7. ISO 13790. Энергетическая эффективность зданий – Расчет энергопотребления на отопление и охлаждение помещений.