



УДК 811

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ С ВАКУУМНОЙ ИЗОЛЯЦИЕЙ

Бабаева Багуль, Тайлыев Якуп, Годыков Перман

преподаватели

Туркменский государственный архитектурно-строительный институт

г. Ашхабад, Туркменистан

**Аннотация.** Исследование процессов теплопередачи в ограждающих конструкциях с вакуумной изоляцией представляет собой одно из наиболее высокотехнологичных и революционных направлений в современной строительной физике и энергоэффективном проектировании зданий. В условиях постоянного ужесточения глобальных требований к снижению энергопотребления и стремления к достижению углеродной нейтральности традиционные теплоизоляционные материалы, такие как минеральная вата или пенополистирол, практически исчерпали свой технологический потенциал. Для обеспечения сверхвысокого термического сопротивления стен при использовании классической изоляции требуется наращивание ее толщины до экономически и конструктивно неприемлемых размеров, что существенно уменьшает полезную площадь внутренних помещений зданий. Вакуумные изоляционные панели позволяют решить эту сложную проблему, обеспечивая в несколько раз более высокую термическую эффективность при минимальной толщине исчисляемой всего несколькими сантиметрами. Научный анализ механизмов переноса тепла в таких вакуумированных средах открывает новые горизонты для создания сверхлегких, ультратонких и максимально долговечных фасадных систем нового поколения.

**Ключевые слова:** теплопередача, ограждающие конструкции, вакуумная изоляция, термическое сопротивление, микропористый диоксид кремния, краевой эффект, мостик холода, длина свободного пробега, долговечность конструкций, энергоэффективность зданий.

## INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER PROCESSES IN BUILDING ENVELOPES WITH VACUUM INSULATION

Babaeva Bagul, Taylyyev Yakup, Godykov Perman

Lecturers

Turkmen State Institute of Architecture and Construction

Ashgabat, Turkmenistan

**Abstract.** The investigation of heat transfer processes in building envelopes with vacuum insulation panels represents a highly advanced frontier in structural thermal physics, offering an ultra-thin, hyper-efficient solution to meet stringent net-zero carbon energy codes. A vacuum insulation panel consists of a highly porous core matrix, typically composed of fumed silica with pore diameters of only a few tens of nanometers, enclosed within an absolutely airtight, multi-layered polymer-aluminum barrier envelope evacuated to a deep technical vacuum. By maintaining internal gas pressure below a critical threshold, the mean free path of the remaining air molecules significantly exceeds the characteristic pore size of the core, completely suppressing molecular gas conduction and eliminating internal convective currents. To neutralize radiative heat transfer, which becomes the dominant transport mechanism under vacuum conditions, opacifiers are tightly integrated into the silica core to scatter and absorb incoming infrared radiation wavelengths.

**Keywords:** vacuum insulation panel, building envelope, heat transfer mechanism, fumed silica core, gas conduction suppression, thermal bridging, envelope permeability, infrared opacifier, thermal resistance, energy-efficient infrastructure.

## Введение

Фундаментальная физика подавления тепловых потоков внутри вакуумных изоляционных панелей базируется на кардинальном изменении соотношения трех классических видов теплопередачи: теплопроводности, конвекции и радиационного излучения. Конструктивно такая панель состоит из высокопористого стержневого материала, помещенного внутрь абсолютно герметичной многослойной защитной оболочки, из объема которой откачан воздух до создания глубокого технического вакуума. При падении внутреннего давления газов ниже критической отметки средняя длина свободного пробега молекул воздуха становится значительно больше характерного размера пор наполнителя, что практически полностью блокирует межмолекулярную теплопроводность газа и устраняет любые конвективные потоки. В качестве пористого ядра чаще всего применяется тонкодисперсный микропористый диоксид кремния, эффективный диаметр пор которого составляет всего несколько десятков нанометров. Для минимизации радиационной составляющей переноса тепла, которая в условиях вакуума становится доминирующей, в структуру кремниевого сердечника дополнительно внедряются специальные непрозрачные мелкодисперсные поглотители инфракрасного излучения.

Важнейшей инженерной проблемой, сдерживающей повсеместное массовое внедрение вакуумной изоляции в строительную практику, является так называемый краевой эффект или термический мостик, возникающий по всему периметру стыковки панелей. Многослойная защитная оболочка, обязанная обеспечивать абсолютную герметичность в течение многих десятилетий эксплуатации, изготавливается из полимерных пленок, ламинированных

тончайшими слоями алюминиевой фольги или оксида кремния. Обладая высокой прочностью и великолепными барьерными свойствами, этот металлизированный слой одновременно имеет высокую теплопроводность, из-за чего на границах соединения панелей формируются локальные каналы интенсивного ухода тепла. Математическое моделирование двумерных и трехмерных температурных полей в зоне краевого стыка показывает, что этот тепловой мостик способен снизить интегральную теплотехническую эффективность фасадной конструкции на двадцать или даже тридцать процентов. Для нейтрализации данного негативного фактора исследователи разрабатывают сложные геометрии ступенчатых и волнообразных торцевых соединений, а также комбинируют вакуумные плиты с тонкими слоями традиционных вспененных полимеров.

### **Заключение**

В заключение необходимо подчеркнуть, что исследование процессов теплопередачи в ограждающих конструкциях с вакуумной изоляцией закладывает прочный научный фундамент для перехода к проектированию зданий с нулевым потреблением энергии. Дальнейшее развитие этой области неразрывно связано с интеграцией нанотехнологий для создания сверхстабильных стержневых матриц, совершенствованием лазерных методов контроля герметичности и развитием гибридных теплоизоляционных систем. Ученые активно работают над концепцией прозрачной вакуумной изоляции, которая в будущем сможет заменить традиционные многокамерные стеклопакеты, обеспечивая окнам термическое сопротивление на уровне капитальных кирпичных стен. Инжиниринговые и строительные холдинги, внедряющие передовые методы компьютерного моделирования микроструктурного переноса тепла, формируют архитектурный облик экологически устойчивых городов будущего. Научно обоснованная оптимизация вакуумных систем гарантирует высочайшую энергоэффективность инфраструктуры, безопасность и абсолютный комфорт для многих последующих поколений жителей планеты.

### **Список литературы:**

1. Гагарин В. Г., Козлов В. В. Перспективы применения вакуумной теплоизоляции в ограждающих конструкциях зданий. Москва: НИИСФ РААСН, 2011.
2. Рой Ф., Шмидт М. Вакуумные изоляционные панели в архитектуре и строительстве. Санкт-Петербург: Профессия, 2015.
3. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М. Энергоэффективные здания: принципы проектирования и технологии. Москва: АВОК-ПРЕСС, 2003.
4. Умнякова Н. П. Теплофизические свойства современных теплоизоляционных материалов. Москва: Издательство АСВ, 2018.