

КУПРИЯШКИНА Л. И., ЛИЯСКИН О. В., МУХАНОВ М. А., АХМЕТЖАНОВ Р. А.

ВАКУУМНО-ПОРОШКОВАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ ТЕРМОКОНТЕЙНЕРОВ

Аннотация. Рассмотрены возможности применения вакуумных теплоизоляционных панелей (ВИП-панелей) для создания высокоэффективной тонкостенной теплоизоляции в термоконтейнерах. Показана эффективность использования в вакуумной теплоизоляции мелкодисперсного наполнителя, представлена схема основных конструктивных элементов. Определено максимальное время термостатирования при определенных условиях эксплуатации материала. Экспериментально доказано, что разработанный термоконтейнер не уступает по характеристикам аналогичным продуктам.

Ключевые слова: вакуумная панель, наполнитель, теплопередача, термоконтейнер, температура, испытания, вакуумно-порошковая теплоизоляция, теплопроводность, теплоизоляционный материал.

KUPRIYASHKINA L. I., LIASKIN O. V., MUKHANOV M. A., AKHMETZHANOV R. A.

VACUUM-POWDER THERMAL INSULATION OF THERMAL CONTAINERS

Abstract. The use of vacuum thermal insulation panels (VIP-panels) to create highly efficient thin-walled thermal insulation in thermal containers is considered. The efficiency of using fine filler in vacuum thermal insulation is shown, a diagram of the main structural elements is presented. The maximum temperature control time is determined under certain operating conditions of the material. It has been experimentally proved that the developed thermal container is not inferior in characteristics to similar products.

Keywords: vacuum panel, filler, heat transfer, thermal container, temperature, tests, vacuum-powder thermal insulation, thermal conductivity, thermal insulation material.

Одним из основных направлений современной науки является создание новых эффективных, экологически чистых теплоизоляционных материалов. Поэтому крайне важными становятся исследования процессов переноса тепла в теплоэнергетике, строительстве и химической промышленности с целью прогнозирования теплотерь в различных условиях эксплуатации, создание методов расчета ограждающих конструкций, энергопотребляющих и генерирующих устройств, работающих при тяжелых температурных режимах. Основным требованием к теплоизоляционным материалам энергосберегающих систем, наряду с экологичностью, низкой себестоимостью и пожароустойчивостью является минимальная величина теплопроводности.

Принципы создания теплоизоляции с вакуумированием порошковых материалов базируются на глубоком понимании физических процессов переноса тепла. Механизмы

переноса тепла в зернистых системах реализуются в трех разновидностях. Основным механизмом переноса тепла в твердых телах – кондукционный. Этот механизм в газах наблюдается в тех случаях, когда быстрые молекулы теплого слоя газа сталкиваются с медленными молекулами соседнего холодного слоя. В результате возникает поток тепла. Газы из легких молекул (водород) проводят тепло лучше, чем тяжелые газы (азот). Следовательно, вид газовой среды в объеме будет влиять на теплопроводность панели.

Путем конвекции теплоперенос осуществляется только в газах и жидкостях и основан на том, что при нагревании газа его плотность уменьшается. При неравномерном нагревании более легкие слои поднимаются, тяжелые опускаются. Вертикальный поток теплоты, связанный с этим движением, как правило, значительно превышает поток, связанный с кондукционной теплопроводностью. Излучение – это механизм передачи теплоты электромагнитными волнами. Способность тела излучать и поглощать электромагнитные волны определяется его атомной структурой.

Вакуумная технология позволяет исключить все три механизма передачи тепла. Теплопроводность газов практически не зависит от давления до тех пор, пока длина свободного пробега молекулы газа не становится сравнимой с размерами полости, в которой находится газ. Это обстоятельство требует создания глубокого вакуума для существенного снижения теплопроводности прослойки между разделяемыми средами и послужило основой для применения мелкопористых материалов в качестве теплоизоляции.

Использование мелкодисперсных пористых материалов позволяет решить задачу создания утеплителей с чрезвычайно малым значением коэффициента теплопроводности при гораздо менее жестких требованиях к конструкции теплоизоляционной системы и степени разрежения воздуха. Основную роль в процессе передачи тепла в пористых порошковых структурах играет давление газа, находящегося в порах, размер частиц и пор, пористость, элементный состав порошка, температура и влажность. Наиболее перспективными для создания ВИП панелей представляются кремнегели на основе диатомитов с размером частиц $5 \cdot 10^{-3}$ мм, а также перлит с высокой степенью пористости, достигающей для вышеуказанных материалов 95 %. Коэффициент теплопроводности этих материалов не превышает 0,003 Вт/(м·К), что на порядок ниже, чем у традиционно используемых теплоизоляционных материалов.

Вакуумные теплоизоляционные панели – это теплоизоляция будущего [1, 2]. ВИП-панели имеют коэффициент теплопроводности $\lambda=0,002 \div 0,009$ Вт/(м·К), а известные аналоги значительно выше, в частности: пенополистирол – $0,038 \div 0,052$ Вт/(м·К), экструдированный пенополистирол – $0,029 \div 0,032$ Вт/(м·К), минеральная вата – $0,035 \div 0,045$ Вт/(м·К), каменная вата – $0,034 \div 0,039$ Вт/(м·К). Благодаря высоким теплозащитным характеристикам вакуумные

теплоизоляционные панели дают возможность создавать высокоэффективные тонкостенные теплозащитные конструкции, позволяющие экономить полезное пространство. С учетом данного преимущества ВИП-панели рекомендуется применять не только в строительстве жилых домов, но и в промышленных, административных, спортивных зданиях, сооружениях, в автомобиле-, авио-, судо-, ракето-, вагоностроении, при производстве холодильного и морозильного оборудования, контейнеров для транспортировки чувствительных к изменению температуры объектов.

При разработке и проектировании термоконтэйнеров основными задачами являются не только повышение длительности сохранения заданной температуры в объеме термоконтэйнера, но и наиболее полное использование объема рабочей камеры. На рынке представлены термоконтэйнеры различной формы, типов и размеров. Они находят применение в медицинской, фармацевтической, пищевой промышленности, используются для перевозки грузов, требующих поддержания определенных температурных условий на протяжении всего периода доставки, а именно термонеустойчивых лекарственных средств, трансплантатов, биоматериалов, вакцин, сывороток, иммунобиологических препаратов, крови, кровезаменителей, материалов медицинского назначения и многих других, транспортировка которых возможна в условиях только высоких или низких температур.

Известны решения, когда термоконтэйнер изготовлен в виде емкости, содержащей защитные оболочки, которые выполнены из текстильного материала, между слоями которых размещен теплоизоляционный материал из пенополистирола, пенополиуретана [3] или в виде термокороба с оболочками из гофрокартона [4]. Недостатком известных моделей является использование пенополистирола и пенополиуретана, которые не отвечают требованиям по огнестойкости, имеют низкий срок службы. Применение вакуумной теплоизоляции, где в качестве наполнителя используется дисперсный наномодифицированный материал, позволяет решить эти проблемы.

Общий поток тепла в волокнистых материалах складывается из трех составляющих: кондуктивного переноса тепла по волокнам, молекулярного и лучистого переноса тепла в пространстве между волокнами. Доля каждой составляющей зависит от теплопроводности волокон, газа-наполнителя, пористости материала, диаметра, плотности, дефектности, шероховатости и фрактальности поверхности волокон, температуры и влажности среды. Возрастание температуры вызывает увеличение молекулярной и лучистой составляющих коэффициента теплопроводности, что позволяет вакуумно-порошковую теплоизоляцию активно применять в термобоксах, производимых инновационными предприятиями зарубежных стран. На рисунке 1 представлены основные конструкционные элементы термоконтэйнера.

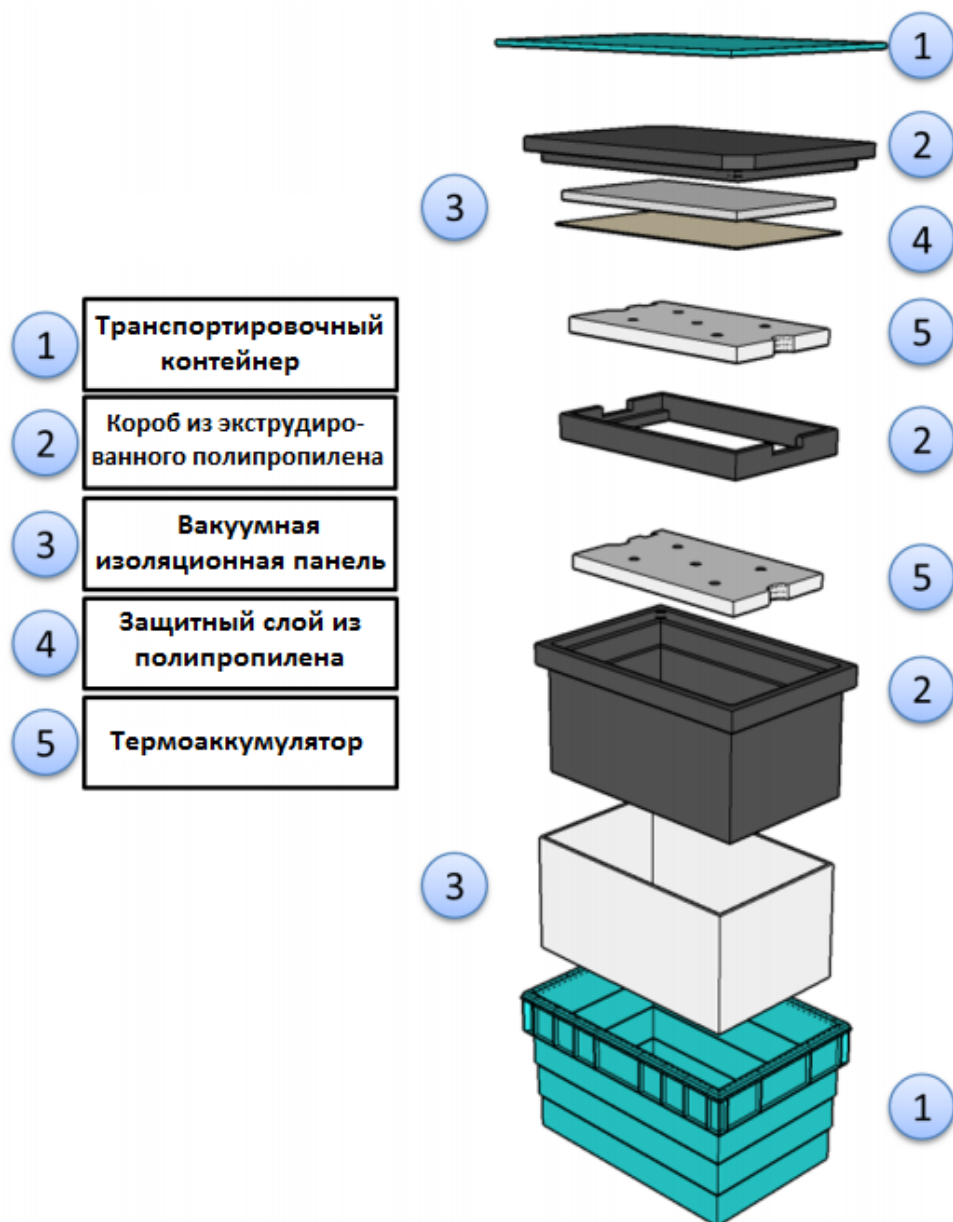


Рис. 1. Основные конструктивные элементы термоконтейнера.

Коллективом кафедры строительных конструкций ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва» под руководством академика РААСН В. П. Селяева предложена новая конструкция термоконтейнера, представляющая из себя ударопрочный корпус из полипропилена в виде параллелепипеда или усеченной пирамиды с откидной крышкой и рабочей камеры (рис. 2). Корпус выполнен в виде многослойной конструкции, состоящей из несущей оболочки, термоизолирующих материалов – пенополиуретан, вакуумная теплоизоляционная панель, отражающая мембрана. Откидная крышка закреплена на корпусе с помощью петель и закрывается с помощью уплотняющих защелок. Термоконтейнер снабжен транспортировочными ручками, расположенными на корпусе, либо на откидной крышке (в зависимости от размера контейнера). Главной особенностью предлагаемого решения является

применение в качестве основного теплоизолирующего материала панели с высокими эксплуатационными свойствами толщиной 10-20 мм, выполненной из вакуумированного наноструктурированного наполнителя [5], упакованного в термостойкую полимерную пленку, которая в свою очередь «замоноличена» в пенополиуретан.

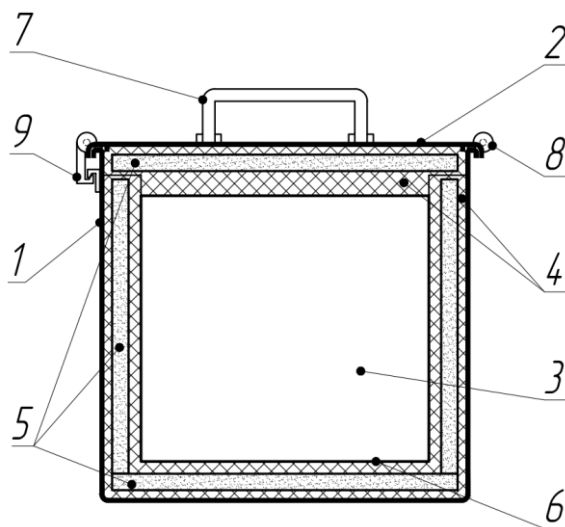


Рис. 2. Термоконтейнер, разработанный в ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарёва»:
– ударопрочный корпус; 2 – откидная крышка; 3 – рабочая камера;
– пенополиуретан; 5 – вакуумная теплоизоляционная панель; 6 – отражающая мембрана;
– транспортировочные ручки; 8 – петли; 9 – защелки.

Для предлагаемого термоконтейнера были проведены исследования, заключающиеся в выявление максимального времени термостатирования при определенных условиях. В качестве хладоэлементов в первом эксперименте (рис. 3) применялись аккумуляторы холода (соответствие температуры холода от +2 до +8 °С не допуская замораживания (статья ОФС 1.1.0010.18 «Хранение лекарственных средств» Государственная Фармакопея (ГФ) XIV издания СП 3.3.2.3332-16 «Условия транспортирования и хранения иммунобиологических лекарственных препаратов»). Во втором эксперименте (рис. 4) – отрицательные температуры (лед), до +8 °С (Федеральный закон N 61-ФЗ «Об обращении лекарственных средств» Собрание законодательства Российской Федерации, 2010, N 16, ст. 1815; N 31, ст. 4161) «Правила хранения лекарственных сред». Графики термостатирования представлены на рисунках 3, 4.

Время термостатирования при температуре от +2 до +8 °С достигло 156 часов (рис. 3), а таяние льда наблюдалось через 276 часов. Полученные результаты соответствуют показателям контейнеров с традиционными утеплителями.

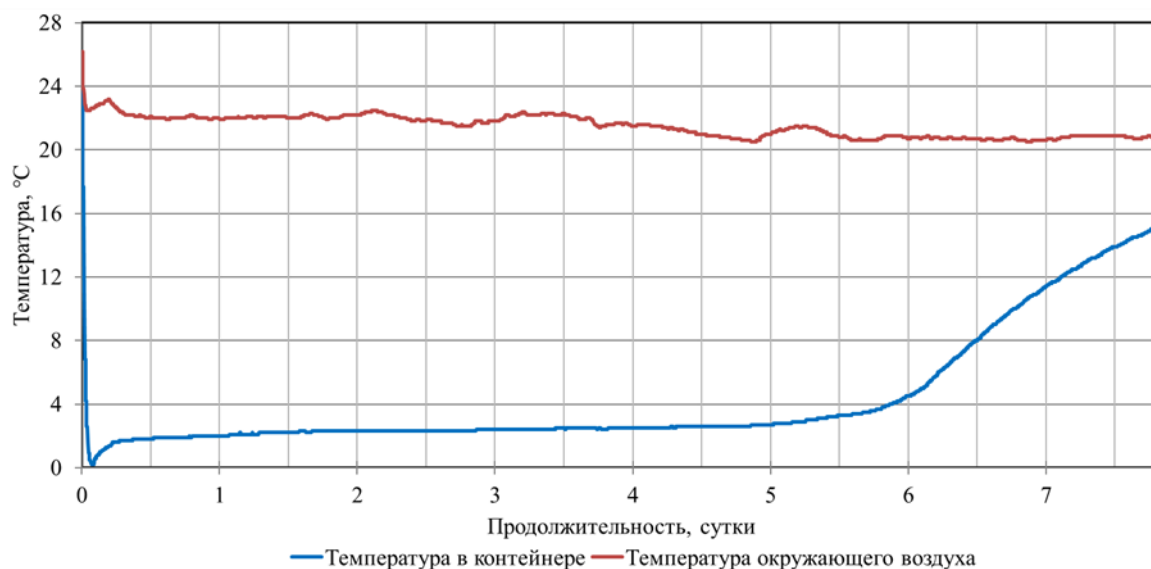


Рис. 3. Термостатирование при температуре от +2 до +8 °C.

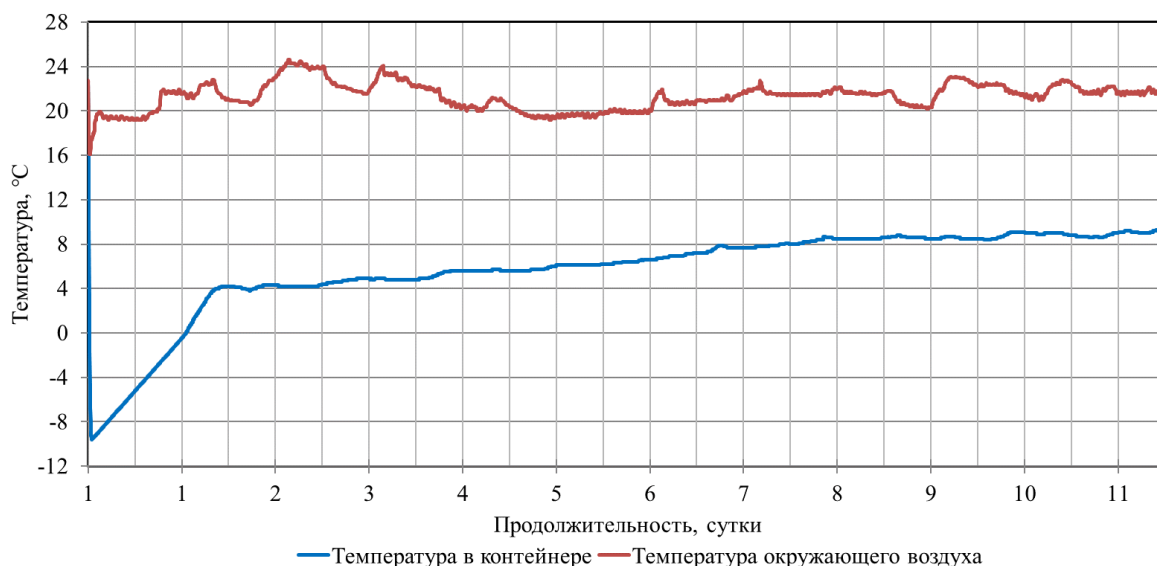


Рис. 4. Испытания термоконтейнера со льдом.

Вывод: Использование в термоконтейнерах вакуумно-порошковой теплоизоляции по сравнению с известными решениями позволяет: повысить теплозащитные свойства контейнера; гарантирует более рациональное использование объема рабочей камеры; повысить время термостатирования перевозимых режимных грузов как при пассивном применении, так и при использовании контейнера с термоаккумуляторами.

В отличие от обычной односторонней упаковки или дорогостоящих перевозок специальными рефрижераторными транспортными средствами, транспортировочные системы с ВИП-панелями являются многоразовыми и, благодаря тому, что изолирующее ядро состоит из натуральных материалов, они на 100% поддаются утилизации и не оказывают вредного воздействия на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селяев П. В., Киселев Н. Н., Лияскин О. В. Принципы создания порошковой теплоизоляции на основе микрокремнезема // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 3. – С. 55–59.
2. Пат. 150467 Российская Федерация, МПК E04C 2/02, F16L 59/06 Вакуумная теплоизоляционная панель / В. П. Селяев, Л. И. Куприяшкина, В. А. Неверов, Е. И. Куприяшкина; заявитель Мордов. гос. ун-т им. Н.П. Огарёва. № 2014133568/03; заявл. 14.08.2014; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5.
3. Пат. 152221 Российская Федерация, МПК A47J 39/02, A47J 41/02, B65D 81/38 Термоконтейнер / М. С. Зуев; заявитель Зуев Михаил Степанович. № 2014121206/12; заявл. 26.05.2014; опубл. 10.05.2015, Бюл № 13.
4. Пат. 2330220 Российская Федерация, МПК F25D 3/08, B65D 81/38 Термоконтейнер-сумка / А. И. Грядунов, И. В. Раков, И. Б. Родионова; заявитель ЗАО «Удел». № 2006141534/12; заявл. 27.11.2006; опубл. 27.07.2008, Бюл. № 21.
5. Куприяшкина Л. И., Карандашов Д. Л., Муханов М. А. Влияние составляющих вакуумных теплоизоляционных панелей на их теплопроводность // XLIX Огарёвские чтения: материалы научной конференции / Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарёва. – Саранск, 2021. – С. 506–511.