

**КИСЕЛЕВ Н. Н., ЛИЯСКИН О. В., МУХАНОВ М. А., КАРАНДАШОВ Д. Л.**  
**ОБЗОР ПЕРСПЕКТИВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ**  
**С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВАКУУМНЫХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ**  
**ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ <sup>1</sup>**

**Аннотация.** В статье представлен обзор существующих конструктивных решений с применением вакуумной теплоизоляции. Изучены варианты сочетания вакуумной теплоизоляционной панели с различными облицовочными и конструкционными материалами. Рассмотрены варианты крепления слоев панели между собой и панели в целом к несущим конструкциям здания. Обозначены преимущества и недостатки применения порошковой теплоизоляции в сравнении с традиционно применяемыми теплоизоляционными материалами.

**Ключевые слова:** вакуум, изоляционная панель, пирогенный микрокремнезем, коэффициент теплопроводности, конструктивное решение, наполнитель, оболочка.

**KISELEV N. N., LIYASKIN O. V., MUKHANOV M. A., KARANDASHOV D. L.**  
**OVERVIEW OF ADVANCED DESIGN SOLUTIONS**  
**FOR VACUUM HEAT-INSULATION PANELS**  
**TO USE IN BUILDING AND CONSTRUCTION INDUSTRY**

**Abstract.** The article provides an overview of available design solutions for vacuum heat-insulation. The options for combining a vacuum heat-insulation panel with a variety of cladding and structural materials are studied. The options for attaching the panel layers between themselves and the panel as a whole to the supporting structures of the building are studied. The advantages and disadvantages of the use of powder insulation in comparison with traditionally used heat-insulation materials are considered.

**Keywords:** vacuum, insulation panel, pyrogenic microsilica, thermal conductivity coefficient, design solution, filler, shell.

Вакуумные теплоизоляционные панели (VIP) в общем случае представляют собой плоские элементы, наполнителем в которых является пористый материал, обеспечивающий формоустойчивость под внешней нагрузкой и атмосферным давлением. Наполнитель помещается в практически газонепроницаемую оболочку, чтобы сохранять заданное качество

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ и Правительства Республики Мордовии № 18-48-130001 «Оптимизационное моделирование свойств теплоизоляционных функционально-градиентных изделий на основе минеральных порошков оксида кремния, синтезированного из природного диатомита».

вакуума. Сопротивление теплопередачи вакуумной теплоизоляции в пять-десять раз лучше, чем у традиционных утеплителей, таких как пенополистирол и минеральная вата. Благодаря подобным характеристикам вакуумная теплоизоляция может обеспечить непревзойденный уровень тепловой защиты при незначительной толщине теплоизоляционных изделий.

Применение наноструктурированных наполнителей дает возможность создавать утеплители с крайне малым значением коэффициента теплопроводности при существенно менее жестких требованиях к конструкции теплоизоляционной системы и степени разрежения внутри панели. Рекомендуемые свойства материалов для применения в вакуумной теплоизоляции и основные положения расчета теплоизоляционных систем указанного типа были анонсированы еще в 60-е годы прошлого века [1; 2].

Основная составляющая переноса тепла в пористых порошковых структурах приходится на теплопередачу газами, находящимися в порах. Чем меньше размеры пор или пустот материала и разветвлена его структура, тем при меньшем значении давления в панели достигается состояние, при котором исключается передача энергии конвекцией газа в объеме материала наполнителя. Например, в высокопористом материале с характерным размером пор  $10^{-8}$  м передача тепла через молекулы воздуха практически исключается уже при давлении в 100 Па. Большинство наполнителей ВИП панелей при высоких показателях уровня вакуума имеют сопоставимые теплотехнические свойства; заметная разница между ними становится очевидной при увеличении давления внутри панели до 10-100 Па.

В последнее десятилетие, ввиду роста цен на энергоресурсы, наблюдается рост интереса к исследованию и применению вакуумной теплоизоляции в строительстве, машиностроении и криогенной технике. Вследствие этого появляются новые решения, конструкции и технологические подходы. Так, авторы [3; 4] предлагают конструкции панелей с наполнителем из наноструктурированного диатомита с добавлением инфракрасных глушителей и поглотителей влаги. В [5] описана конструкция панели, схожая по составу, но с защитно-декоративной облицовкой из стекла и латонита. Известно решение вакуумной теплоизоляционной плиты на основе модифицированного диатомита, которая упакована в оболочку из термостойкого полимера и заключена в жесткую пенополиуретановую оболочку-форму, выполненную из двух частей, входящих друг в друга и соединённых между собой полиуретановым клеем [6].

Встречаются решения вакуумной теплоизоляции с применением в качестве наполнителя пенопластов. Например, автор [7] предлагает изделие, состоящее из фасонной детали на основе жесткого пенополиуретана и покрывающей фасонную деталь многослойной фольги, включающей полиэтилен. Фасонная деталь получается в результате прессования и формования массы измельченного жесткого пенополиуретана со связующим

на основе полиизоцианата. Для освобождения детали от летучих компонентов предполагается отжиг заготовки при температуре от 100 до 200 °С. В [8] предложено в качестве наполнителя ВИП использовать многослойный склеивающийся теплоизоляционный материал, включающий в себя алюминиевую фольгу, пластик и бумагу, нарезанный на кусочки размером не более 10 мм, а сама панель изготовлена посредством горячего прессования под давлением непосредственно в гибкой оболочке.

Наиболее перспективным видится использование вакуумной теплоизоляции в составе трехслойных (многослойных) конструкций. Авторы [9] разработали стеновую многослойную панель, заключенную в два защитных слоя, выполненных из металлических листов. Теплоизоляционные слои из ВИП панелей, уложенных послойно в ряды с перевязкой швов преимущественно в соседних слоях таким образом, что один теплоизоляционный слой смещен относительно другого на расстояние не менее толщины слоя, но не более  $\frac{1}{2}$  горизонтального размера одного слоя. Вакуумная теплоизоляция отделена от обшивок двумя защитными слоями из пенополиуретана. Все слои скреплены между собой клеящей композицией.

Известно о конструкции трехслойной стеновой панели, состоящей из облицовки, выполненной из высокопрочного бетона, несущего элемента из керамзитобетона и внутреннего элемента из вакуумной теплоизоляции в термостойкой оболочке. Совместная работа всех слоев обеспечивается за счет каркаса в виде замкнутой прямоугольной рамы из композитного швеллера с перемычками, противоположные концы которых продлены до боковых поверхностей панели, выполненными открытыми в виде монтажных проемов. Армирующая сетка, расположенная в наружном бетонном слое, соединена с каркасом по его контуру гибкими связями [10].

Производство вакуумных теплоизоляционных панелей (ВИП) в наше время уже налажено в США, Западной Европе, Китае и Японии. Они находят применение в технике низких температур (холодильники и морозильные комнаты категории энергопотребления А+ и выше) и в строительстве энергоэффективных (пассивных и активных) зданий. На сегодняшний день технология производства ВИП панелей проходит этап полномасштабного тестирования и освоения на строительных площадках развитых стран. Следующим шагом должно стать массовое производство и внедрение в строительную отрасль. Катализатором данного процесса служит политика энергосбережения стран Европы, Скандинавии, Японии и США.

Благодаря своим уникальным теплозащитным характеристикам ВИП панели имеют огромный потенциал применения в строительстве, реконструкции и машиностроении. Наиболее очевидны преимущества ВИП при наличии существенных пространственных

ограничений, что является актуальной проблемой в отечественной и мировой практике реконструкции зданий с высокой исторической ценностью.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев Л. К. Теплопроводность неметаллических зернистых систем // Строительная теплофизика. – М.; Л.: Энергия, 1966. – С. 48-56.
2. Дульнев Г. Н., Сигалова Г. В. Теплопроводность моно- и полидисперсных зернистых материалов // Строительная теплофизика. – М.; Л.: Энергия, 1966. – С. 40-47.
3. Вакуумная теплоизоляционная панель, патент 120497 Рос. Федерация: МПК E04C 2/02 (2006.01) / Веденин А.Д. (RU), Пустовгар А.П. (RU); Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный строительный университет" (МГСУ) (RU) – 2012118186/03, заявл. – 04.05.2012, опубл. – 20.09.2012; Бюл. № 26.
4. Вакуумная изоляционная панель с алюмооксидным десикантом, патент 120437 Рос. Федерация: МПК B82B3 / B64C1/40 / B60P3/20 / Веденин А.Д., Мазалов Д.Ю., Мазалов Ю.А., Соловьев Р.Ю., Соловьев С.А., Богатова Н.О.; Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка (ФГБНУ ГОСНИТИ) (RU) – 2014145419/11, заявл. – 12.11.2014, опубл. – 27.06.2015, Бюл. № 18.
5. Теплоизоляционная панель; патент 98021 Рос. Федерация: МПК E04C 2/02 (2006.01)/Селяев В.П., Травуш В.И., Осипов А.К., Селяев П.В., Гладышев А.С.; Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева" (RU) – 2010117836/03, заявл. – 04.05.2010, опубл. – 27.09.2010; Бюл. № 27.
6. Вакуумная теплоизоляционная панель, патент 150467 Рос. Федерация: МПК E04C 2/02 (2006.01) / F16L 59/06 (2006.01) / Селяев В.П. (RU), Куприяшкина Л.И. (RU), Неверов В. А. (RU), Маштаев О.Г. (RU), Куприяшкина Е.И. (RU); Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева" (RU) – 2014133568/03; заявл. - 14.08.2014, опубл. – 20.02.2015; Бюл. № 5.
7. Теплоизоляционное изделие; патент 2154577 Рос. Федерация: МПК B32B 1/00 (2000.01) / B32B 5/18 (2000.01) / B32B 7/02 (2000.01) / B32B 27/40 (2000.01) /

B29C 67/20 (2000.01) / B29C 51/16 (2000.01) / C08L 75/04 (2000.01) / C08J 9/236 (2000.01) / B29K 75/00 (2000.01) / К. Вернер ДИТРИХ (DE), Хайнц ТОМАС (DE), Ханнс-Иммо ЗАКС (DE); Патентообладатель: БАЙЕР АГ (DE) – 97108975/04; заявл. – 23.10.1995, опубл. – 20.08.2000; Бюл. № 23.

8. Вакуумированная теплоизоляционная панель; патент 106715 Рос. Федерация: МПК F16L 59/00 (2006.01) / Островская Н.В. (RU), Чайка В.Д. (RU); Патентообладатель: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет" (RU) - 2011101197/06; заявл. – 13.01.2011, опубл. – 20.07.2011; Бюл. № 20.

9. Стеновая многослойная панель; патент 99041 Рос. Федерация: МПК E04F 13/077 (2006.01) / Селяев В.П. (RU), Травуш В.И. (RU), Осипов А.К. (RU), Маштаев О.Г. (RU); Патентообладатель: Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева" (RU) – 2010120159/03; заявл. – 19.05.2010, опубл. – 10.11.2010; Бюл. № 31.

10. Трехслойная стеновая панель; патент 2258788 Рос. Федерация: МПК E04C 2/26 (2000.01) / Бикбау М.Я. (RU) ; Патентообладатель: Бикбау М.Я. (RU) – 2004106504/03; заявл. – 05.03.2004, опубл. – 20.08.2005; Бюл. № 23.