

КУПРИЯШКИНА Л. И., СЕЛЯЕВ В. П.,

ДОЛГОВ И. П., КИСЕЛЕВ Н. Н., НУРЛЫБАЕВ Р. Е.

**РАЗРАБОТКА ВАКУУМНЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА
ИЗ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ПОРОШКА ЧАСТИЦ ДИАТОМИТА**

Аннотация. Проведен сравнительный анализ технических характеристик VIP-панелей. Рассмотрены вакуумные панели с различными видами наполнителей. Показаны возможности использования полученных панелей в качестве теплоизоляционного материала в ограждающих конструкциях жилых зданий.

Ключевые слова: вакуумная панель, наполнитель, теплопередача, долговечность, климатические испытания, теплопроводность, микрокремнезем, теплоизоляционный материал.

KUPRYASHKINA L. I., SELYAEV V. P.,

DOLGOV I. P., KISELEV N. N., NURLIBAEV R. E.

**DEVELOPMENT OF VACUUM PANELS BASED ON MICROSILICA
FROM NANOSTRUCTURED POWDER PARTICLES OF DIATOMITE**

Abstract. A comparative analysis of technical characteristics of VIP panels is carried out. Vacuum panels with different types of fillers are studied. The possibilities of using the panels as heat insulation material in residential building envelopes are shown.

Keywords: vacuum panel, filler, heat transfer, durability, climate testing, thermal conductivity, microsilica, heat insulation material.

В соответствии с Федеральным законом «Об энергосбережении» от 03.04.1996 г. № 28-ФЗ в современной строительной индустрии к качеству теплоизоляционных материалов предъявляются более жесткие требования. Одно из перспективных направлений – это разработка теплоизоляционных материалов нового поколения, к которым относятся вакуумные теплоизоляционные панели (VIP-панели). Использование их в качестве теплоизоляционного материала в ограждающих конструкциях жилых зданий представляется более эффективным решением, чем использование традиционного утеплителя [1–4].

Применение пенопластов и легких волокнистых материалов не позволяет снизить теплопередачу без соответствующего увеличения толщины теплоизоляции. В связи с этим в 1987 г. Ахвердовым В. М. была предложена теплоизоляция с применением вакуума. Высокий вакуум создавался между двойных жестких стенок панели, изготовленных преимущественно из металла.

Данная теплоизоляционная панель была усовершенствована: наружный слой выполнен из декоративного стекла, а внутренний – из латонита, теплоизоляционный слой – из теплоизоляционной плиты, выполненной из вакуумированного наноструктурированного порошка частиц диатомита крупностью до 0,1 мк и пористостью 95%, при этом все слои соединены полиуретановым клеем по всем поверхностям (RU 98021, МПК У 04С 2/02, опубл. 27.09.2010). Однако при транспортировке теплоизоляционной панели часто повреждается стекло, что, в свою очередь, приводит к нарушению целостности вакуумной упаковки. Кроме того, предлагаемая панель имеет большой вес.

Для устранения этих недостатков была предложена гибкая оболочка, внутри которой размещен наполнитель, выполненный из многослойного теплоизоляционного материала, включающего алюминиевую фольгу, пластик и бумагу, нарезанную на кусочки размером не более 10 мм, а сама панель изготовлена посредством горячего прессования под давлением непосредственно в гибкой оболочке (патент РФ № 106715, МПК F16L 59/00, опубл. 20.07.2011). Наполнитель содержит связующую добавку из полиэтилена, гибкая оболочка выполнена из химически стойкого пластика.

Недостатком панели является технологическая трудность создания регулярного открытого порового пространства теплоизоляционного материала, необходимого для вакуумирования, путем механического измельчения. Кроме того, используемые для изготовления наполнителя материалы (фольга, пластик, бумага) являются плотными и обладают достаточно высокой теплопроводностью. Связующая добавка из полиэтилена также способствует снижению теплопроводности наполнителя.

На кафедре строительных конструкций НИ МГУ им. Н. П. Огарёва была предложена вакуумная теплоизоляционная панель, состоящая из вакуумированного наноструктурированного порошка частиц диатомита, упакованного в термостойкую полимерную пленку, которая заключена в жесткую пенополиуретановую оболочку-форму, выполненную из двух частей, входящих друг в друга и соединенных между собой полиуретановым клеем (патент РФ №150467, опубл 20.02.2015).

Был проведен сравнительный анализ VIP-панелей, который показал, что разработанные панели не уступают по своим характеристикам производителям других стран (табл. 1).

Для определения долговечности разработанных VIP-панелей проводились климатические испытания. Были изготовлены образцы вакуумных теплоизоляционных панелей размером 100 × 100 × 10 мм с различными видами наполнителей [4–6]:

- образец 1 – белая сажа марки БС-100;
- образец 2 – пирогенный микрокремнезем;

- образец 3 – модифицированный микрокремнезем (наноструктурированный порошок частиц диатомита);
- образец 4 – пирогенный микрокремнезем марки Орисил 300;
- образец 5 – белая сажа марки БС-100.

Таблица 1

**Сравнение технических характеристик полученных VIP-панелей
и других производителей на основе аморфного микрокремнезема**

Показатели	Единицы измерения	Страна производитель				
		США	Германия	Китай	Китай / США	Россия
		VIP	FRONT-VIP	VOKES-VIP	Nanorop-VIP	Diatomit-VIP
Теплопроводность	Вт/м·°С	0,01–80,008	0,02–0,002	0,02–0,002	0,018–0,002	0,02–0,002
Стабильность размеров	%	1	1	1	1	1
Огнестойкость	класс	A1	A1	A1	A1	A1
Плотность	кг/м ³	100	80	100	90	100
Стоимость	руб./м ²	800	900	900	800	400
Толщина	мм	20	20	20	20	20

Во время проведения эксперимента фиксировались следующие показатели: Q – интенсивность теплового потока, Вт/м²; Δ – толщина образца, мм; t_1 – температура на внешней поверхности панели, °С; t_2 – температура на внутренней поверхности панели, °С; m – масса образца, г; λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С) (табл. 2).

Таблица 2

Изменение коэффициента теплопроводности VIP-панелей

Показания от 05.2016 г.						
№	Q , Вт/м ²	t_1 , °С	t_2 , °С	Δ , мм	m , г	λ , Вт/(м·°С)
1	22	2,1	–13,8	10,7665	60,1	0,014897
2	31	2,9	–27,2	11,29	43,4	0,011628
3	22	5,7	–20,5	11,3	38,06	0,009489
4	24	5,7	–13,3	10,2	48,25	0,012884
5	35	1,4	–24,6	10,06	38,79	0,013542

Показания от 01.2017 г.						
№	Q , Вт/м ²	t_1 , °С	t_2 , °С	Δ , мм	m , г	λ , Вт/(м·°С)
1	32	2,6	–15,7	10,7665	60,11	0,0188
2	43	5,1	–19,4	11,29	43,42	0,019
3	36	2,5	–22,3	11,3	38,12	0,016
4	Произошло развакуумирование панели					
5	36	–2	22,7	10,06	38,8	0,017

Анализ экспериментальных данных показал, что полученные VIP-панели можно использовать в качестве теплоизоляционных ограждающих материалов. Образец № 4 не прошел климатические испытания, так как вследствие перепада температур произошло изменение плотности наполнителя, что привело к развакуумированию панели.

С учетом полученного коэффициента теплопроводности был проведен теплотехнический расчет ограждающих конструкций жилых домов с использованием в качестве теплоизоляционного материала разработанных вакуумных панелей. Требуемое сопротивление теплопередаче (R_0^{TP}) для наружных стен должно быть не менее $3,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, для кровли – не менее $4,8 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Сопротивления теплопередачи, полученные в процессе эксперимента, для наружных стен и кровли (R_0^ϕ) приведены в табл. 3. Согласно полученным данным, испытываемые образцы удовлетворяют предъявляемым нормам.

Таблица 3

Результаты расчетов термического сопротивления с использованием разного теплоизоляционного материала

Утеплитель	Сопротивление теплопередаче для наружных стен, $R_0^\phi, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	Сопротивление теплопередаче для кровли, $R_0^\phi, \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$	$R_0^\phi > R_0^{TP}$
Образец 1	4,2	5,1	Удовлетворяет
Образец 2	4,7	6,1	Удовлетворяет
Образец 3	5,5	7,77	Удовлетворяет
Образец 4	4,51	5,72	Удовлетворяет
Образец 5	4,42	5,74	Удовлетворяет
Газоблок	2,39	1,31	Не удовлетворяет

На основании вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

- микрокремнезем, полученный из наноструктурированного диатомита, можно использовать в качестве наполнителя для качественных вакуумных теплоизоляционных панелей;
- технические характеристики полученных VIP-панелей не уступают зарубежным аналогам;
- вакуумные теплоизоляционные панели, полученные из модифицированного диатомита, можно использовать в качестве теплоизоляционного материала в ограждающих конструкциях жилых зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селяев В. П., Неверов В. А., Осипов А. К. Теплоизоляционные материалы и изделия на основе вакуумированных дисперсных порошков микрокремнезема и диатомита. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – 220 с.
2. Heinemann U., Caps R., Fricke J. Characterization and optimization of filler materials for vacuum super insulations // *Vuoto scienza e tecnologia*. – 1999. – Vol. 18, No. 12. – pp. 43–46.
3. Селяев В. П., Неверов В. А., Куприяшкина Л. И., Маштаев О. Г. Природные и искусственные микрокремнеземы в качестве наполнителей вакуумных изоляционных панелей // *Строительные материалы*. – 2014. – № 9. – С. 1–7.
4. Куприяшкина Л. И., Долгов И. П., Куприяшкина Е. И., Нурлыбаев Р. Е. Новые стеновые теплоизоляционные конструкции [Электронный ресурс] // *Огарев-online*. – 2016. – № 5. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/novye-stenovye-teploizolyacionnye-konstrukcii>.
5. Селяев В. П., Куприяшкина Л. И., Киселев Н. Н., Селяев П. В. Оптимизация состава наполнителя вакуумной теплоизоляционной панели на основе пирогенного микрокремнезема // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2017. – № 5. – С. 36–42.
6. Васильев Л. Л. Теплопроводность неметаллических зернистых систем // *Строительная теплофизика*. – М.; Л.: Энергия, 1966. – С. 48–56.