

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ХЛОПКОВОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВАКУУМНЫХ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ

POSSIBILITY OF COTTON FIBERS APPLICATION FOR PRODUCTION OF VACUUM INSULATING PANELS

*В.П. СЕЛЯЕВ, А.М. ДАНИЛОВ, П.В. СЕЛЯЕВ, Н.Н. КИСЕЛЕВ, О.Г. МАШТАЕВ, Е.Л. КЕЧУТКИНА
V.P. SELYAEV, A.M. DANILOV, P.V. SELYAEV, N.N. KISELEV, O.G. MASHTAEV, E.L. KECHUTKINA*

**(Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева,
Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)
(Mordovian State University named after N.P. Ogarev,
Penza State University of Architecture and Building)
E-mail: nform80@mail.ru; fmatem@pguas.ru**

Экспериментально обоснована возможность применения в качестве наполнителя для вакуумных изоляционных панелей хлопкового волокна.

Установлено, что на его основе можно производить панели с коэффициентом теплопроводности 0,005 Вт/м °С. Разработаны на основе плана Кифера-Коно математические модели, позволяющие оптимизировать соотношение зернистого и волокнистого наполнителя для получения панелей типа VIP с заданными показателями по теплопроводности.

Экспериментальные исследования подтвердили конкурентоспособность предлагаемых панелей VIP с зарубежными аналогами. Показано влияние вида и количественного соотношения компонентов наполнителя на теплопроводность панелей.

There is experimental justification of possibility of using cotton fiber as a filler for vacuum insulating panels.

During the research, the possibility of creating vacuum insulating panels based on cotton fiber with a coefficient of thermal conductivity of 0.005 W/m°C was confirmed. Mathematical models were developed on the basis of the Kiefer-Kono plan, which allows to optimize the ratio of granular and fibrous filler to obtain vacuum insulating panels with specified parameters for thermal conductivity.

Experimental research work has confirmed the competitiveness of the proposed vacuum insulating panels with foreign counterparts. The influence of the type and the quantitative ratio of the filler components on the thermal conductivity of the panels was shown. The possibility of using cotton fiber as a filler for vacuum insulating panels has been experimentally substantiated.

Ключевые слова: вакуумная изоляционная панель, тонкодисперсный кремнезем, хлопковое волокно, диатомит, коэффициент теплопроводности.

Keywords: vacuum insulating panel, finely divided silica, cotton fiber, diatomite, thermal conductivity coefficient.

Энергосбережение – одна из основных задач современности. Исследования показывают, что из-за нерациональных проектных решений тепловой защиты зданий и сооружений около 40% тепла теряется через

ограждающие конструкции [1]. Поэтому разработка высокоэффективных систем теплоизоляции зданий является актуальной задачей.

В последние годы исследователи развитых стран уделяют большое внимание разработке вакуумных изоляционных панелей (типа VIP) на основе наноструктурированного дисперсного минерального порошка [2...7].

Многочисленными исследованиями установлено, что для производства вакуумных изоляционных панелей необходимо особое внимание уделить наполнителям: минеральным дисперсным порошкам, волокнам и добавкам, блокирующим перенос тепла излучением [6], [8], [9].

Многие исследователи считают [6], [7], [10...12], что в качестве дисперсного наполнителя наиболее подходящим является дисперсный порошок кремнезема с размером частиц 20...100 нм и содержанием оксида кремния более 95%. Задача создания технологий производства подобного кремнезема решается различными способами [13...17]. Авторами предложена технология получения порошка аморфного кремнезема золь-гель методом из природного диатомита [18].

В качестве волокнистого наполнителя, который составляет 5...20% от общей массы наполнителя, предлагают применять волокна из стекла, базальта [6], [11]. Предполагаем, что волокна органического происхождения, отходы ткацкого производства могут быть вполне конкурентоспособными

базальтовым или стеклянным и даже снизить стоимость и теплопроводность панелей.

Целью настоящей работы является изучение возможности применения и влияния хлопкового волокна на теплозащитные свойства вакуумных панелей, разработка экспериментально-статистических полиномиальных моделей влияния вида и соотношения наполнителей на теплопроводность вакуумных панелей.

Для исследования влияния вида зернистого и волокнистого наполнителя на теплозащитные свойства панелей типа VIP были изготовлены образцы панелей размером 140×125×10 мм и 160×140×10 мм. Оболочка выполнялась из металлизированной полимерной пленки PA/PE. В качестве дисперсного наполнителя применяли: природный измельченный диатомит; микрокремнеземы осажденные, пирогенные, конденсированные и полученные по предложению авторов золь-гель методом. Волокнистые наполнители применялись на основе стекла, базальта и хлопка. Добавкой-блокиратором являлся порошок диоксида титана. В исследуемых составах варьирование двух переменных факторов (x_1, x_2 – массовое, количество волокна и порошка) проводили на трех уровнях – 1; 0; +1 по плану Кифера-Коно (табл. 1).

Таблица 1

Варьируемые факторы	Уровень фактора в i-м опыте								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
x_1 – количество волокна	0	1	0	-1	0	1	1	-1	-1
x_2 – количество порошка	0	0	1	0	-1	1	-1	-1	1

Изготовление VIP-панелей осуществляли с применением вакуумного упаковщика Henkelman Polar 52. Определение коэффициента теплопроводности выполняли путем измерения плотности теплового потока с применением прибора ИПП-2 на лабораторной установке согласно ГОСТу 7076–99. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме, ГОСТу 25380–92. Метод измерения плотности теп-

ловых потоков, проходящих через ограждающие конструкции.

Достоверность экспериментальных данных оценивали методами статистического анализа. Аналитическое описание зависимости теплопроводности от состава и соотношения дисперсных и волокнистых наполнителей проводили на основе полиномиальных моделей, полученных путем реализации D-оптимальных планов Кифера-Коно, построенных на кубе при $n = 2$ [24].

Реализация плана Кифера-Коно позволила описать зависимость теплопроводности VIP-панелей от содержания волокна (x_1) и минерального порошка (x_2) регрессионным уравнением второго порядка вида:

$$y = \vartheta_0 + \vartheta_1 x_1 + \vartheta_2 x_2 + \vartheta_{12} x_1 x_2 + \vartheta_{11} x_1^2 + \vartheta_{22} x_2^2. \quad (1)$$

Коэффициенты регрессии определяли по формуле:

$$\vartheta_{ij} = (A^T A)^{-1} A^T y_i = C A^T y_i.$$

Последовательность и методика построения матрицы A , оценки значимости коэффициентов регрессии по t -критерию и адекватности уравнения по F -критерию приведены в работе [25].

Таблица 2

№ п/п	Состав наполнителя VIP	Градиент, °С	Уровни варьирования			Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м °С
			безразмерные	$x_1, 2$	$x_2, 2$	
1	Белая сажа + хлопковое волокно	10	-1	2,5	87,5	0,009
			0	5,0	90,0	0,004
			+1	7,5	92,5	0,006
2	Белая сажа + хлопковое волокно	20	-1	2,5	87,5	0,012
			0	5,0	90,0	0,008
			+1	7,5	92,5	0,011
3	Белая сажа + хлопковое волокно	20 без вакуума	-1	2,5	87,5	0,022
			0	5,0	90,0	0,024
			+1	7,5	92,5	0,021
4	Белая сажа + базальтовое волокно	20	-1	5,0	100,0	0,012
			0	10,0	125,0	0,016
			+1	15,0	150,0	0,015
5	Диатомит + стекловолокно	10	-1	5,0	100,0	0,016
			0	7,0	125,0	0,015
			+1	9,0	150,0	0,012
6	Диатомит + стекловолокно	20	-1	5,0	100,0	0,0175
			0	7,0	125,0	0,020
			+1	9,0	150,0	0,02
7	Белая сажа + стекловолокно	20 без вакуума	-1	10,0	55,0	0,053
			0	15,0	60,0	0,049
			+1	20,0	65,0	0,046
8	Микрокремнезем золь-гель метод + стекловолокно	-	-	-	-	0,009
9	VIP – "Дейли", Китай, огнестойкий	-	-	-	-	0,005 0,008
10	Пенополистирол экструдированный	-	-	-	-	0,018
11	Пенопласт	-	-	-	-	0,022

Таблица 3

№ п/п	Панели VIP с наполнителем	Градиент, °С	Коэффициенты регрессии					
			ϑ_0	ϑ_1	ϑ_2	ϑ_{11}	ϑ_{22}	ϑ_{12}
1	Белая сажа + хлопковое волокно	10	0,005	0,000	-0,001	0,001	0,002	0,000
2	Белая сажа + хлопковое волокно	20	0,007	0,001	-0,001	0,002	0,002	-0,001
3	Белая сажа + хлопковое волокно	20 без вакуума	0,021	0,001	-0,001	0,001	0,000	-0,001
4	Диатомит + стекловолокно	10	0,013	0,001	-0,003	0,001	0,001	-0,001
5	Диатомит + стекловолокно	20	0,016	0,002	-0,002	0,003	0,001	-0,002
6	Белая сажа + стекловолокно	20 без вакуума	0,054	-0,001	-0,004	-0,001	-0,001	-0,001

Для того чтобы оценить возможность применения хлопкового волокна в качестве наполнителя при изготовлении VIP-панелей, были изготовлены и испытаны вакуумные панели, наполненные белой сажой и хлопковым волокном при градиенте температур 10 и 20°C, вакуумированные и с нормальным давлением внутри оболочки.

Для определения эффективности влияния на теплозащитные свойства хлопкового волокна были испытаны подобные панели, наполненные базальтовым наполнителем и стекловолокном. Результаты, полученные после статистической обработки результатов эксперимента, представлены в табл. 2, 3 и на графиках рис. 1.

В табл. 2 приведены: составы и количественное содержание по массе в граммах наполнителей; значения измеренных коэффициентов теплопроводности; условия испытания.

В первых семи строках табл. 2 представлены данные о варьировании переменных факторов x_1 и x_2 при реализации плана эксперимента по матрице Кифера-Коно.

В табл. 3 с учетом оценки значимости даны коэффициенты регрессии уравнения (1), позволяющие оценивать влияние вида наполнителя на теплопроводность VIP-панелей.

На рис. 1 (зависимость теплопроводности вакуумной теплоизоляционной панели от содержания в качестве наполнителя порошка белой сажи и хлопкового волокна (б, в, г), стекловолокна (а); измерения проводили при градиенте температуры 10°C (б) и 20°C (г); на рис. 1-в и 1-г панели изготовлены без вакуумирования) представлены графики, позволяющие прогнозировать значения коэффициента теплопроводности при изменении соотношения между дисперсным зернистым и волокнистым наполнителями.

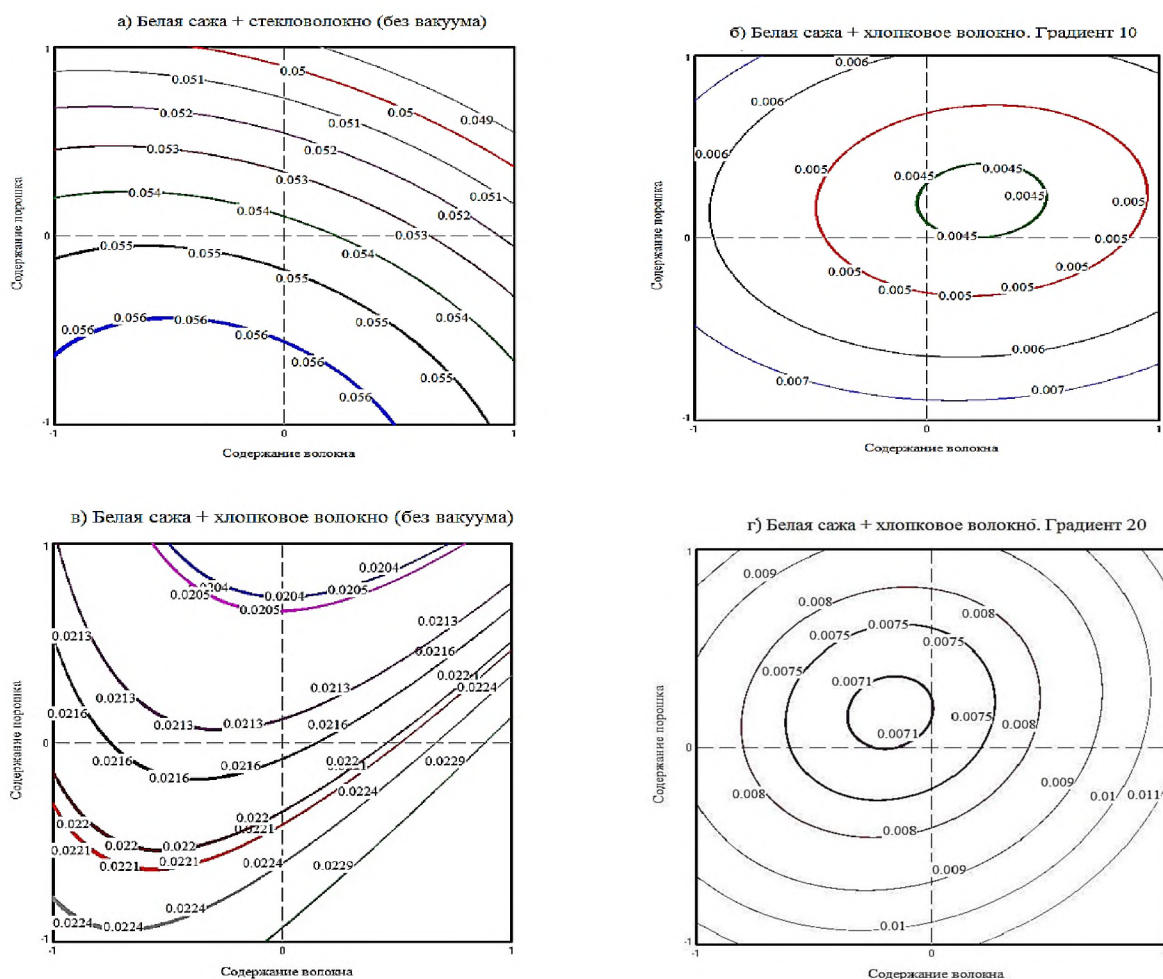


Рис. 1

В результате анализа экспериментальных данных, представленных в табл. 2, 3 и на рис. 1, установлено:

- применение хлопкового волокна в качестве наполнителя дает возможность снизить значения коэффициента теплопроводности VIP до 0,004 Вт/м °С, почти в три раза по сравнению с панелями, наполненными базальтовым или стекловолокном. Оптимальным является содержание волокна в пределах (5...6)% от общей массы наполнителя;

- изменение градиента температуры в диапазоне 10...20° при измерении теплопроводности практически не влияет на количественное значение коэффициента λ , Вт/м °С;

- вакуумированная панель сохраняет теплозащитные свойства и после потери вакуума вследствие длительной эксплуатации или механического повреждения защитной оболочки. Коэффициент теплопроводности панели VIP без вакуумирования увеличивается до 0,02 Вт/м °С, то есть теплозащитные свойства в этом случае соответствуют пенополистиролу;

- теплозащитные панели VIP, с наполнителем из белой сажи и хлопкового волокна, по количественным значениям коэффициента теплопроводности соответствуют китайским аналогам VIP – Дейли.

Полиномиальные модели, представленные уравнением (1), дают возможность оценить влияние каждого варьируемого фактора x_1 и x_2 и возможное синергетическое воздействие факторов на теплопроводность изделий. По величине коэффициента ϵ_0 можно судить о теплопроводности панели при значениях x_1 и x_2 в центре эксперимента, так как $\epsilon_0 = \lambda(x_1 = 0; x_2 = 0)$. Анализируя значения остальных коэффициентов регрессии, можно утверждать: для уменьшения коэффициента теплопроводности панелей VIP необходимо в объеме панели увеличивать долю зернистого наполнителя и снижать до среднего уровня долю волокон; количественные значения коэффициента ϵ_{12} свидетельствуют о том, что в системе наполнителя "минеральный порошок + волокно" синергетический эффект не наблюдается.

Сделанные выводы подтверждаются анализом графиков на рис. 1.

ВЫВОДЫ

1. Хлопковые волокна можно применять в качестве волокнистой составляющей наполнителя вакуумных изоляционных панелей. Они эффективны и дают возможность получить панели с коэффициентом теплопроводности ниже 0,005 Вт/м °С, что соответствует лучшим мировым аналогам.

2. В качестве зернистого наполнителя вакуумных изоляционных панелей рекомендуем применять белую сажу БС-100 и аморфный кремнезем, полученный авторами из диатомита золь-гель методом. Он не требует дополнительной обработки и очистки и содержит более 95% оксида кремния в виде частиц размером 20...100 нм.

3. Наиболее эффективными являются панели VIP, содержащие максимально возможное количество тонкодисперсного микрокремнезема и около 5% от общей массы наполнителя хлопкового волокна, что обеспечивает показатель качества по коэффициенту теплопроводности на уровне 0,005 Вт/м °С.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Caps R., Friscke J.* Konzepte für den Einsatz, von evakuierten Dämmungen bei Passivhäusern. 4 Passivhaus Tagung. – Kassel, März 2000. S. 171...177.
2. *Дульнев Г.Н., Сигалова Г.В.* Теплопроводность моно- и полидисперсных зернистых материалов. Строительная теплофизика. – М-Л.: Энергия, 1966. С. 40...47.
3. *Kumaran K.* Heat, air and moisture transfer in insulated envelope parts. IEA Final Report. – Vol.3 Task 3: Material Properties 1996.
4. *Caps R., Hetfleisch J., Rettelbach Th., Fricke J.* Thermal Conductivity of Spun Glass Fibers as Filler Material for Vacuum Insulations, Thermal Conductivity. – 23, 1966, P. 373...382.
5. *Schwab H., Wachtel J., Heinemann U., Beck A., Fricke J.* Vakuuminisolationspaneele unter baupraktischen Bedingungen. 1 // Conference "VIP-Bau", proceedings. – Rostock-Warnemi' mde, 2003, P. 68...76.
6. *Селяев В.П., Неверов В.А., Осипов А.К. и др.* Теплоизоляционные материалы и изделия на основе вакуумированных дисперсных порошков микрокремнезема и диатомита. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013.

7. Данилевский Л.Н. Вакуумная теплоизоляция и перспективы ее использования в строительстве // Архитектура и строительство. – 2006, №5. С.114...117.
8. Oehler S. Münsterländer Hof renoviert. 9 Internationale Passivhaustagung 2006. – Hannover, 2006. P.57...62.
9. Diefenbach N. Modernisierung von Zweifamilienhäusern auf unterschiedliche energetische Standards unter einatz von Grobelementen mit Vakuumdämmung. 9 Internationale Passivhaustagung 2006. – Hannover, 2006. P. 63...68.
10. Васильев Л.Л. Теплопроводность неметаллических зернистых систем // Строительная теплофизика. – М-Л.: Энергия, 1966. С. 48...56.
11. Дульнев Г.Н., Заричняк Ю.П. Теплопроводность смесей и композиционных материалов. – Л.: Энергия, 1974.
12. Селяев В.П., Осипов А.К., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И., Маштаев О.Г., Сидоров В.В. Теплоизоляционные свойства материалов на основе тонкодисперсных минеральных порошков // Строительные материалы. – 2013, № 1. С. 61...63.
13. Пат. 2474535. Российская Федерация, МПК С 01 В 33/12. Способ получения аморфного диоксида кремния / В.В. Наседкин, Я.О. Ильев, Е.Н. Иванов. Г.П. Галкин; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью "Технострой" (ООО Технострой).– №2011134416/05; заявл. 17.08.11; опубл. 10.02.13, Бюл. №4.– 18 с.
14. Пат. 2023664. Российская Федерация, МПК5 С 01 В 33/18, С 09 С1/28. Способ получения осажденного кремнеземного наполнителя / В.В. Дервянко, В.Ф. Соболев, Е.П. Попляков, Ю.Н. Зверев, В.М. Балабанов; заявитель Ленинский горно-химический завод, патентообладатель В.Ф. Соболев.– №5019457/26; заявл. 23.09.91; опубл. 30.11.94, Бюл. №27.– 3 с.
15. Пат. 2394764. Российская Федерация, МПК С 01 В 33/12, В 82 В 1/00. Способ получения диоксида кремния / Л.А. Земнухова, Г.А. Федорищева; заявитель и патентообладатель Институт химии Дальневосточного отделения Российской академии наук (статус государственного учреждения) (Институт химии ДВО РАН).– №2009114380/15; заявл. 15.04.09; опубл. 20.07.10, Бюл. №20.– 8 с.
16. Пат. 2385292. Российская Федерация, МПК С 01 В 33/18. Способ получения высокодисперсного диоксида кремния / Н.В.Туляков, Ю.Н. Назаров, В.А. Крохин; заявитель и патентообладатель Н.В. Туляков.– №2007131505/15; заявл. 20.08.07; опубл. 27.03.10, Бюл. №9.– 6 с.
17. Пат. 2378194. Российская Федерация, МПК С 01 В 33/18. Реактор синтеза диоксида кремния и способ его получения пламенным гидролизом / В.В. Вавилов, Г.И. Судьяров, П.А. Стороженко, А.Н. Поливанов, А.А. Кочурков; патентообладатель Федеральное государственное унитарное предприятие "Государственный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский институт химии и технологии элементоорганических соединений".– №2008103719/15; заявл. 06.02.08; опубл. 10.01.10.
18. Пат.2526454. Российская Федерация, МПК С 01 В 33/18. Способ получения тонкодисперсного аморфного микрокремнезема / В.П. Селяев, А.К. Осипов, А.А. Седова, Л.И. Куприяшкина; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева".– №2013104054/05; заявл. 30.01.13; опубл. 20.08.14, Бюл. №23.– 7 с.
19. Хартман К., Лецкий Э., Шефер В. и др. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / Под ред. Э.К. Лецкого, пер. с немецк. – М.: Изд-во Мир, 1977.
20. Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., Седова А.А., Осипов А.К., Неверов В.А., Нурлыбаев Р.Е. Моделирование технологических режимов модификации природного диатомита для увеличения содержания аморфного диоксида кремния // Изв. вузов. Строительство. – 2015, №3. С.5...14.

REFERENCES

1. Caps R., Friscke J. Konzepte für den Einsatz, von evakuierten Dämmungen bei Passivhäusern. 4 Passivhaus Tagung. – Kassel, Marz 2000. S. 171...177.
2. Dul'nev G.N., Sigalova G.V. Teploprovodnost' mono- i polidispersnyh zernistyh materialov. Stroitel'naja teplofizika. – M-L.: Jenergija, 1966. S.40...47.
3. Kumaran K. Heat, air and moisture transfer in insulated envelope parts. IEA Final Report. – Vol.3 Task 3: Material Properties 1996.
4. Caps R., Hetfleisch J., Rettelbach Th., Fricke J. Thermal Conductivity of Spun Glass Fibers as Filler Material for Vacuum Insulations, Thermal Conductivity. – 23, 1966, P. 373...382.
5. Schwab H., Wachtel J., Heinemann U., Beck A., Fricke J. Vakuumisolationspaneele unter baupraktischen Bedingungen. I // Conference "VIP-Bau", proceedings. – Rostock-Warnemi' mde, 2003, P. 68...76.
6. Seljaev V.P., Neverov V.A., Osipov A.K. i dr. Teploizoljacionnye materialy i izdelija na osnove vakuumirovannyh dispersnyh poroshkov mikrokremlnezema i diatomita. – Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2013.
7. Danilevskij L.N. Vakuumnaja teploizoljacija i perspektivy ee ispol'zovanija v stroitel'stve // Arhitektura i stroitel'stvo. – 2006, №5. S.114...117.
8. Oehler S. Münsterländer Hof renoviert. 9 Internationale Passivhaustagung 2006. – Hannover, 2006. P.57...62.
9. Diefenbach N. Modernisierung von Zweifamilienhäusern auf unterschiedliche energetische Standards unter einatz von Grobelementen mit Vakuumdämmung. 9 Internationale Passivhaustagung 2006. – Hannover, 2006. P. 63...68.
10. Vasil'ev L.L. Teploprovodnost' nemetallicheskikh zernistyh sistem // Stroitel'naja teplofizika. – M-L.: Jenergija, 1966. S. 48...56.
11. Dul'nev G.N., Zarichnjak Ju.P. Teploprovodnost' smesej i kompozicionnyh materialov. – L.: Jenergija, 1974.

12. Seljaev V.P., Osipov A.K., Neverov V.A., Kuprijashkina L.I., Mashtaev O.G., Sidorov V.V. Teploizoljacionnye svojstva materialov na osnove tonkodispersnyh mineral'nyh poroshkov // Stroitel'nye materialy. – 2013, № 1. S. 61...63.

13. Pat. 2474535. Rossijskaja Federacija, MPK S 01 V 33/12. Sposob poluchenija amorfnoho dioksida kremnija / V.V. Nasedkin, Ja.O. Il'ev, E.N. Ivanov. G.P. Galkin; zajavitel' i patentoobladatel' Obshhestvo s ogranichennoj otvetstvennost'ju "Tehnostroj" (OOO Tehnostroj).– №2011134416/05; zajavl. 17.08.11; opubl. 10.02.13, Bjul. №4.– 18 s.

14. Pat. 2023664. Rossijskaja Federacija, MPK S 01 V 33/18, S 09 S1/28. Sposob poluchenie osazhdenogo kremnezemnogo napolnitelja / V.V. Derevjanko, V.F. Sobolev, E.P. Popljakov, Ju.N. Zverev, V.M. Balabanov; zajavitel' Leninskij gorno-himicheskij zavod, patentoobladatel' V.F. Sobolev.– №5019457/26; zajavl. 23.09.91; opubl. 30.11.94, Bjul. №27.– 3 s.

15. Pat. 2394764. Rossijskaja Federacija, MPK S 01 V 33/12, V 82 V 1/00. Sposob poluchenija dioksida kremnija / L.A. Zemmuhova, G.A. Fedorishheva; zajavitel' i patentoobladatel' Institut himii Dal'nevostochnogo otdelenija Rossijskoj akademii nauk (status gosudarstvennogo uchrezhdenija) (Institut himii DVO RAN).– №2009114380/15; zajavl. 15.04.09; opubl. 20.07.10, Bjul. №20.– 8 s.

16. Pat. 2385292. Rossijskaja Federacija, MPK S 01 V 33/18. Sposob poluchenija vysokodispersnogo dioksida kremnija / N.V. Tuljakov, Ju.N. Nazarov, V.A. Krohin; zajavitel' i patentoobladatel' N.V. Tuljakov.– №2007131505/15; zajavl. 20.08.07; opubl. 27.03.10, Bjul. №9.– 6 s.

17. Pat. 2378194. Rossijskaja Federacija, MPK S 01 V 33/18. Reaktor sinteza dioksida kremnija i sposob ego poluchenija plamennym gidrolizom / V.V. Vavilov, G.I. Sud'jarov, P.A. Storozhenko, A.N. Polivanov, A.A. Kochurkov; patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe unitarnoe predpriyatje "Gosudarstvennyj ordena Trudovogo Krasnogo Znameni nauchno-issledovatel'skij institut himii i tehnologii jelementoorganicheskikh soedinenij".– №2008103719/15; zajavl. 06.02.08; opubl. 10.01.10.

18. Pat.2526454. Rossijskaja Federacija, MPK S 01 V 33/18. Sposob poluchenija tonkodispersnogo amorfnoho mikrokreznemzema / V.P. Seljaev, A.K. Osipov, A.A. Sedova, L.I. Kuprijashkina; patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Mordovskij gosudarstvennyj universitet im. N.P. Ogareva".– №2013104054/05; zajavl. 30.01.13; opubl. 20.08.14, Bjul. №23.– 7 s.

19. Hartman K., Leckij Je., Shefer V. i dr. Planirovanie jeksperimenta v issledovanii tehnologicheskikh processov / Pod red. Je.K. Leckogo, per. s nemeck. – M.: Izd-vo Mir, 1977.

20. Seljaev V.P., Kuprijashkina L.I., Sedova A.A., Osipov A.K., Neverov V.A., Nurlybaev R.E. Modelirovanie tehnologicheskikh rezhimov modifikacii prirodnoho diatomita dlja uvelichenija sodержanija amorfnoho dioksida kremnija // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. – 2015, №3. S.5...14.

Рекомендована кафедрой строительных конструкций Мордовского гос. ун-та им. Н.П. Огарева. Поступила 07.02.17.