Инновационные материалы на основе аэрогеля в строительстве

А.В. Макеева [1*], Н.В. Виденков [2], Л.В. Доброгорская [3], К.В. Семенов [4], В.В. Федотов [5]

[1,2] Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье УДК 69

Аннотация *На сегодняшний день во многих странах приняты национальные программы по развитию нанотехнологий. Постепенно возможности использования достижений данной области в строительной отрасли расширяются. Так, одной из инновационных разработок является аэрогель. В статье проанализирована ситуация использования материалов на основе аэрогеля в строительной отрасли, в частности, в строительном сегменте российского рынка. Оценены перспективы аэрогеля как строительного наноматериала.*

Ключевые слова: Нанотехнологии, аэрогель, теплоизоляционные материалы, наноматериалы, светопрозрачные конструкции

Содержание

1. Введение 90
2. Обзор литературы 90
3. Постановка задачи 90
4. Характеристики аэрогеля 90
5. Аэрогель на российском строительном рынке. Теплоизоляция 91
6. Аэрогель на российском строительном рынке. Светопрозрачные конструкции 94
7. Заключение 95

Контактный автор:
1*. +7(981)8223463, nicealexa@mail.ru (Макеева Александра Васильевна, студент)
2. +7(911)7562244, xnickid@gmail.com (Виденков Никита Викторович, студент)
3. +7(921)9215765, lubashka_95@mail.ru (Доброгорская Любовь Вячеславовна, студент)
4. +7(921)7811957, kvsemenov@bk.ru (Семенов Кирилл Владимирович, к.т.н., доцент)
5. +7(981)8548910, fedotov-vova10@mail.ru (Федотов Владимир Васильевич, студент)

1. Введение

Главным направлением развития нанотехнологий в строительстве является создание различных материалов со сложной структурой и уникальными прочностными, температурными и другими свойствами [1-3]. По всей России в настоящее время действует более десяти нанотехнологических центров [4].

Аэрогель – это своеобразная революция на современном строительном рынке. Материал, известный своей чрезвычайно низкой теплопроводностью (~0,017 Вт/(м·К) в воздухе при нормальном атмосферном давлении [5]), был удостоен за свои уникальные качества пятнадцатью позициями в книге рекордов Гиннеса. Название «аэрогель» произошло от двух латинских слов: «aer» – воздух и «gelatus» – замороженный [6]. Изобретателем аэрогеля считается Стивен Кистлер (Steven Kistler) из Тихоокеанического колледжа (College of the Pacific) в Стоктоне, Калифорния, США, опубликовавший в 1931 г. свои результаты в журнале «Nature» [7]. В течение многих лет никто не знал, где этот материал можно грамотно и эффективно использовать в виду его высокой хрупкости.

В 1999 году подрядчик «NASA» компания «Aspen Systems» начала разрабатывать способ дешевого производства аэрогелей. Инженеры компании научились «встраивать» аэрогель в ткань. Получаемые таким образом инновационные материалы оказались гибкими и нехрупкими, и с ними, наконец, стало можно работать. В 2001 году «Aspen Aerogels» - компания, которая отделилась от «Aspen Systems» для дальнейших разработок, придумала, как использовать аэрогель вместо стекловаты для изоляции подводных нефтепроводов [8]. Первыми, кто получил аэрогель в России, были сотрудники Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН (г. Новосибирск) и сотрудники ОИЯИ (г. Дубна) [7].

Многие компании сегодня проявляют интерес к теплоизоляционным и светопропускающим свойствам аэрогеля, в результате чего были разработаны инновационные строительные материалы, которые постепенно внедряются на рынки по всему миру.

2. Обзор литературы

В публикации [4] рассматривается проблема развития наноиндустрии в России на современном этапе. Дается общая характеристика государственной политики в области наноиндустрии.

В работах [3, 9] проанализирована ситуация в строительном сегменте рынка наноматериалов и нанотехнологий. Определены основные направления исследований, барьеры применения наноматериалов в строительной отрасли России.

В статьях [7,10-16] рассмотрен инновационный наноматериал аэрогель, его свойства и характеристики, значимые научные результаты. Приведены различные виды и сферы применения аэрогеля. При этом в работах [7,11,13,16] особое внимание уделено аэрогелю на основе кремнезема.

Авторы статей [17-21] исследуют аспекты применения аэрогелей в строительной отрасли в качестве материала обладающего высокими теплоизоляционными и светопропускающими свойствами. В частности, внимание уделяется одному из перспективных и эффективных методов повысить теплоизоляционные характеристики современных стеклопакетов – заполнению межстекольного пространства стеклопакетов аэрогелем, а также созданию стеклянных стен.

В публикациях [6,22-24] авторы рассматривают материалы на основе аэрогеля компании «Aspen aerogels», которые успешно применятся в строительной отрасли не только для теплоизоляции теплотрасс (рулонные теплоизоляционные материалы Пирогель и Криогель), но и в домашнем строительстве («сплав» стеклоткани и аэрогеля Spaceloft).

В статьях [25-26] представлен новый способ получения аэрогельных наноструктур (на примере аэрогеля AlOOH) с участием жидких металлов и его перспективы. В работе [25] также описали результаты влияния аэрогеля AlOOH на свойства керамических материалов на основе Si3N4, SiC, ZrO2

3. Постановка задачи

Будущее строительного материаловедения во многом связано с применением нанотехнологий. Однако, несмотря на то, что наноматериалы активно внедряются в сферу строительства, их доля еще достаточно мала [27].

Цель данной статьи - проанализировать ситуацию использования материалов на основе аэрогеля в строительной отрасли, в частности, в строительном сегменте российского рынка; оценить перспективы аэрогеля как строительного наноматериала.

4. Характеристики аэрогеля

Уникальные свойства аэрогеля обусловлены его не менее уникальной внутренней структурой. Аэрогели относятся к классу мезопористых материалов, в которых полости занимают не менее 50 % объема, и представляют собой трехмерный кластер с размером элементов около 4 нм и характерным размером поры 10 нм [6,23]. Основные характеристики аэрогеля приведены в Таблице 1, сравнение значений теплопроводности минеральной ваты, пенополистерола и аэрогеля – в Таблице 2.

Таблица 1. Основные характеристики аэрогеля

Характеристика	Примечание
Прозрачен (хорошая светопроницаемость), стоек к радиации	• Прозрачен, поскольку размер неоднородностей в аэрогеле много меньше длины волны видимого света [6]; • Имеет голубоватый оттенок (данное явление, как и цвет неба, объясняется рэлеевским рассеянием света [6]); • Хорошо поглощает инфракрасное излучение [7,18]
Гидрофобен	• Способен отталкивать воду и поэтому конденсат на стеклах никогда не образуется [18]
Сверхлегкий материал с хорошей звукоизолирующей способностью	• Аэрогель на 99,8 % состоит из воздуха [6] • Кварцевым аэрогелям принадлежит текущий рекорд по самой малой плотности у твердых тел — 1,9 кг/м³, в 500 раз меньше плотности воды [10]
Относительно высокая прочность	• Выдерживает нагрузку, в ~ 2000 раз превышающую собственный вес [7];
Не горюч, низкая теплопроводность	• Значение теплопроводности достигает 0,015 Вт/м*К [6].
Не содержит опасных веществ и вдыхаемых волокон	• За незначительность ущерба окружающей среде, наносимого их производством, аэрогели уже успели получить от McDonough Braungart Design Chemistry серебряный сертификат «Cradle-to-Cradle» [32-33]

Таблица 2. Теплопроводность различных теплоизоляционных материалов [12]

Материал	Теплопроводность (Вт/м*^{0}С)
Минеральная вата	0,07-0,08
Пенополистирол	0,038-0,041
Кварцевый аэрогель	**0,015**

Применяют аэрогели в достаточно широком спектре областей, одна из основных – космическая. В строительстве аэрогели нашли применение в качестве теплоизолирующих и теплоудерживающих материалов для теплоизоляции стальных трубопроводов и зданий, также применяются как заполнитель для стеклопакетов [17] и используются для изготовления стеклянных стен [18].

Процесс производства аэрогелей сложен и трудоемок, поэтому и дорогостоящ. В России имеется производство аэрогеля, в двух местах, это Новосибирск и Обнинск, пока только для научных целей [18].

5. Аэрогель на российском строительном рынке. Теплоизоляция

В строительной отрасли России используются импортные материалы на основе аэрогелей. Существует две основные компании, поставляющие теплоизоляционные материалы с аэрогелем на территории России:

- ООО «Объединенная промышленная инициатива», основанное в 2003 году на базе компаний, занимающихся поставками в Россию высококачественных импортных теплоизоляционных материалов, начало сотрудничество с Aspen Aerogels, Inc. в 2011 году и в настоящее время является единственным официальным представителем производителя теплоизоляционных материалов на основе аэрогеля на территории Российской Федерации [5,29];
- Российская компания, специализирующаяся на разработке и внедрению на рынок современных комплексных решений в области обеспечения тепло-, шумоизоляции, гидроизоляции, антикоррозийной, химической и огнезащиты – ООО «Тепло Изоляционные Материалы» - официальный партнер китайской компании Guangdong Alison Hi-Tech Co., Ltd. [28].

В Таблицах 3,5 представлен список материалов на основе аэрогеля, поставляемых на территории России, в Таблице 4 – объекты, на которых использовались теплоизоляционные материалы компании Aspen Aerogels.

Таблица 3. Продукция американской компании Aspen Aerogels

Материал	Описание и применение	Комментарии
Pyrogel® XT [5,29-30]	Гибкий теплоизоляционный материал, состоящий из аэрогеля и армированной нетканной стеклянно-волоконной прокладки, применяемый для изоляции промышленных трубопроводов, емкостей и оборудования при температурах до +650 ^{0}C [29].	Негорючий (НГ), водонепроницаем, паропроницаем, не содержит опасных веществ и вдыхаемых волокон, прост в монтаже и позволяет произвести высокоэффективную теплоизоляцию при малых затратах материала. Выпускается толщиной 5 и 10 мм [5,29].
Cryogel®Z [5,29-30]	Гибкий теплоизоляционный материал, покрытый пароизоляционной пленкой, применяемый для термической защиты в условиях низких (в том числе криогенных) температур в диапазоне от -260 ^{0}C до +90 ^{0}C [29].	Является паро- и влагонепроницаемым материалом с чрезвычайно низкой теплопроводностью, Материал не содержит опасных веществ и вдыхаемых волокон, слабогорючий (Г1), трудновоспламеняем (В1), с малой дымообразующей способностью (Д1), малоопасный (Т1). Выпускается толщиной 5 и 10 мм [5,29].
Spaceloft® [5,30]	Высокоэффективный теплоизоляционный материал, предназначенный для утепления строительных конструкций в любых климатических условиях. Представляет собой стекловолокнистый холст с распределенными в нем частицами аэрогеля диоксида кремния [5,30].	Гидрофобен, паропроницаем, не содержит опасных веществ и вдыхаемых волокон. Выпускается толщиной 5 и 10 мм [5,30]. Диапазон температуры от -100 ^{0}C до 200 ^{0}C [31]
Spaceloft® Subsea [5,31]	Надежный и эффективный теплоизоляционный материал для изоляции систем "труба в трубе" глубоко под водой, изготовленный на основе аэрогеля, армированного нетканным материалом из стекловолокна [5].	Гибкая нанопористая теплоизоляция. Диапазон температуры от -100 ^{0}C до 200 ^{0}C [31]. Выпускается толщиной 5, 10, 15, 20, 25, 30 мм.

Рисунок 1. Pyrogel® [29]

Рисунок 2. Cryogel ® [29]

Таблица 4. Использование материалов Aspen Aerogels на объектах [5]

Материал	Объекты в России	Объекты в мире
Pyrogel® XT	1. Компрессорная станция «Северная». ГПА; 2. Коми, РФ. Паропровод.	1. Биллингс, США. Воздуховоды с системой ограничения токсичности выхлопа; 2. Батон-Руж, США. Крыша резервуара; 3. Дартмут, Канада. Битумный резервуар; 4. Залив Пьюджет-Саунд, США. Бензольные колонны; 5. Округ Меса, США. Трубопровод; 6. Озеро Джекфиш, Канада. Паропровод; 7. Паулина (Сан-Паулу), Бразилия. Дистилляционные колонны; 8. Белу-Оризонти, Бразилия. Противопожарная защита оборудования; 9. Антверпен, Бельгия. Горячий реактор; 10. Маршалл, США. Каналы подачи горячего воздуха для горячей сушки зерна;
Cryogel®Z	1. Москва, РФ. Трубопровод жидкого азота	1. Адриатическое море. Криогенные клапаны СПГ; 2. Антверпен, Бельгия. Этиленовые клапаны и трубопровод; 3. Газовое месторождение Ормен Ланге, Норвегия. Паропровод; 4. Терминал Golden Pass LNG. Трубопровод СПГ, оборудование; 5. Эверетт, США. Разгрузочный трубопровод и система возврата паров СПГ; 6. Антверпен, Бельгия. Насос для превращения жидкого азота в газ высокого давления, трубопровод; 7. Триунфу, Бразилия. Сферический резервуар; 8. Фрипорт, США. Монтажные соединения трубопровода СПГ; 9. Хаверхилл, США. Криогенные гофрированные мембраны СПГ.

Таблица 5. Продукция китайской компании Guangdong Alison Hi-Tech Co., Ltd.

Материал	Характеристики и применение	Комментарии
Alison Aerogel Blanket DRT06 [28]	Гибкая рулонная теплоизоляция для применения в условиях высоких температур, имеющая в своем составе аэрогель на основе диоксида кремния и волокна. Идеально подходит для изоляции труб, емкостей, оборудования, резервуаров и т.д.	Безопасен для окружающей среды, легок в использовании. Максимальная температура применения 650 ^{0}C. Абсолютно гидрофобный, негорючий (НГ), огнестойкий. Выпускается толщиной 3 мм, 6 мм, 10 мм [28].
Alison Aerogel Blanket GR10 [28]	Рулонная теплоизоляция на основе кремнистого аэрогеля для применения в условиях высоких температур.	Огнестойкий, негорючий (НГ), гидрофильный/гидрофобный. Безопасен для окружающей среды, легок в использовании. Максимальная температура применения 1000 ^{0}C. Выпускается толщиной 6 мм [28].
Alison Aerogel Panel GY10 [28]	Серия жестких плит с нанопористой структурой различной толщины, подходящих для широкого спектра температур и обладающих высокой прочностью на сжатие. Состоит из нанокварцевого аэрогеля и волокон. Применение: изоляционное покрытие нестандартной формы; интегрированные изоляционные системы для зданий и сооружений [28].	Гидрофобен и воздухопроницаем. Безопасен для окружающей среды. Максимальная температура применения 1000 ^{0}C. Выпускается толщиной 10, 20 и 30 мм [28].

Также, на основе Pyrogel® XT, ООО «Объединенная промышленная инициатива» выпускает съемные теплоизоляционные чехлы, предназначенные для изоляции оборудования сложной геометрической формы, требующего периодического и оперативного доступа для технического обслуживания, диагностики, ремонта и снятия показаний контрольно-измерительных приборов, с температурой эксплуатации до 650 ºС [5,29].

Применение теплоизоляционных чехлов позволяет обеспечить безопасную для персонала эксплуатацию оборудования, существенно снизить энергопотребление технологического оборудования и ликвидировать затраты на монтаж новой и демонтаж отслужившей теплоизоляции [5].

Рисунок 3. Теплоизоляционный чехол [29]

6. Аэрогель на российском строительном рынке. Светопрозрачные конструкции

Американская корпорация Cabot* несколько лет назад вывела на рынок новый продукт для усиления естественного освещения светопрозрачных конструкций - аэрогель Lumira (Lumira® aerogel). Производство аэрогеля налажено на современном заводе, расположенном недалеко от Франкфурта, Германия, где началась коммерческая деятельность корпорации в 2003 году [33].

Примечание: (*) Cabot Aerogel является бизнесом Cabot Corporation. Со штаб-квартирой в Бостоне, штат Массачусетс, США, корпорация является мировым лидером в области специальной химии и материалов, в том числе аэрогелей [33].

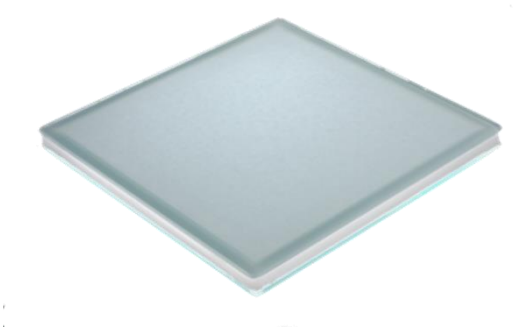

Рисунок 4. SOLERA® + Lumira® aerogel R5 [34]

На российском рынке светопрозрачных конструкций был найден единственный продукт с применением аэрогеля Lumira – SOLERA® – инновационные светопрозрачные оконные системы производства компании Advanced Glazings Ltd. (Канада), разработанные специально для максимального использования рассеянного дневного света в современной архитектуре и энергоэффективном строительстве. Данные оконные системы обладают высокими теплоизоляционными показателями благодаря использованию в конструкции аэрогеля Lumira® aerogel [34].

Каталог продукции [34]:

- SOLERA® + Lumira® aerogel R18. Толщина модуля 76.2 мм
- SOLERA® + Lumira® aerogel R9. Толщина модуля 44.45 мм
- SOLERA® + Lumira® aerogel R5. Толщина модуля 25.4 мм

7. Заключение

По результатам проведенного анализа можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время технология изготовления аэрогелей остается дорогостоящей и одним из основных направлений в области исследования аэрогелей, в частности в строительной отрасли, является уменьшение себестоимости продукции за счет снижения затрат на изготовление;
2. Хотя применение аэрогелей в качестве теплоизоляции для большинства объектов является экономически нецелесообразным, для строительства конструкций повышенной ответственности использование теплоизоляционных материалов на основе аэрогеля обусловлено их уникальными физическими и теплотехническими характеристиками, сроком службы, экологичностью и легкостью монтажа, таким образом полностью компенсируя затраты качеством;
3. На российском строительном рынке представлены материалы на основе аэрогеля производителей различных стран (Китай, США, Канада), в небольшом ассортименте. По сравнению с опытом использования подобных материалов за рубежом, российская строительная индустрия только начинает применение данной продукции. Однако имеющийся опыт позволяет сделать вывод об эффективности применения теплоизоляции на основе аэрогелей;

Таким образом, можно сделать вывод о том, что при снижении себестоимости продукции, теплоизоляционные материалы и стеклопакеты с применением аэрогелей займут одну из лидирующих позиций на строительном рынке. В частности, в российской строительной отрасли, возможно наладка производства собственной продукции с использованием аэрогелей, производимых в Новосибирске и Обнинске, что значительно снизит стоимость продукции за счет уменьшения затрат на транспортные перевозки.

Литература

[1]. Наноматериалы в строительстве. Аэрогель [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URLhttp://www.naars.ru/articles/196/ (дата обращения: 23.02.2017)

[2]. Наноматериалы в строительстве. Аэрогель [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URL http://www.rusnanonet.ru/nanoindustry/construction/constr_field/ (дата обращения: 23.02.2017)

[3]. Юсубова О.Р., Бавина Е.В. Высокотехнологичные материалы в строительстве // Молодой ученый. 2017. № 2 (136). С. 70-73.

[4]. Идрисова А.А. Государственная политика РФ в области развития наноиндустрии // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Том 17. № 12. С. 247-251.

[5]. Аэрогель [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URL http://www.aerogel-russia.ru/ (дата обращения: 23.02.2017)

[6]. Плотников В.В., Ботаговский М.В. Инновационные ограждающие конструкции и материалы для реализации ресурсоэнергоэффективного строительства // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2015. № 4 (12). С. 35-44.

[7]. Иванов Н.Н., Иванов А.Н. Теплоизоляционный аэрогель и пьезоактивная пленка PVDF – современные перспективные материалы для космической техники и космического приборостроения // Вестник «НПО им. С.А. Лавочкина». 2011. № 2. С. 46-52.

[8]. Aspen Systems. Аэрогель [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URL http://www.forbes.ru/forbes/issue/2010-07/56056-tonshe-i-teplee (дата обращения: 24.02.2017)

[9]. Фаликман В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве строительных материалов // Строительные материалы. 2013. № 9. С. 77-81.

[10]. Рыбакова О.А., Лысенко А.В., Алмаметов В.Б. Прочная невесомость или аэрогель // Труды

References

[1]. Nanomaterialy v stroitelstve. Aerogel [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URLhttp://www.naars.ru/articles/196/ (data obrashcheniya: 23.02.2017)

[2]. Nanomaterialy v stroitelstve. Aerogel [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URL http://www.rusnanonet.ru/nanoindustry/construction/constr_field/ (data obrashcheniya: 23.02.2017)

[3]. Yusubova O.R., Bavina Ye.V. Vysokotekhnologichnyye materialy v stroitelstve // Molodoy uchenyy. 2017. № 2 (136). S. 70-73.

[4]. Idrisova A.A. Gosudarstvennaya politika RF v oblasti razvitiya nanoindustrii // Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014. Tom 17. № 12. S. 247-251.

[5]. Aerogel [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URL http://www.aerogel-russia.ru/ (data obrashcheniya: 23.02.2017)

[6]. Plotnikov V.V., Botagovskiy M.V. Innovatsionnyye ograzhdayushchiye konstruktsii i materialy dlya realizatsii resursoenergoeffektivnogo stroitelstva // Biosfernaya sovmestimost: chelovek, region, tekhnologii. 2015. № 4 (12). S. 35-44.

[7]. Ivanov N.N., Ivanov A.N. Teploizolyatsionnyy aerogel i pyezoaktivnaya plenka PVDF – sovremennyye perspektivnyye materialy dlya kosmicheskoy tekhniki i kosmicheskogo priborostroyeniya // Vestnik «NPO im. S.A. Lavochkina». 2011. № 2. S. 46-52.

[8]. Aspen Systems. Aerogel [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URL http://www.forbes.ru/forbes/issue/2010-07/56056-tonshe-i-teplee (data obrashcheniya: 24.02.2017)

[9]. Falikman V.R. Nanomaterialy i nanotekhnologii v proizvodstve stroitelnykh materialov // Stroitelnyye materialy. 2013. № 9. S. 77-81.

[10]. Rybakova O.A., Lysenko A.V., Almametov V.B. Prochnaya nevesomost ili aerogel // Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost i Kachestvo». 2008. Tom 2. S. 103-104.

международного симпозиума «Надежность и Качество». 2008. Том 2. С. 103-104.
[11]. Пустовгар А.П., Веденин А.Д. Теплоизоляционные нанокомпозиты на основе аэрогеля кремнезёма // Научно-технический вестник Поволжья. 2013. № 1. С. 252-254.
[12]. Якубовский Ю. Е., Лобач И. А. Использование аэрогеля в качестве теплоизоляционного материала магистральных трубопроводов // Проблемы функционирования систем транспорта. Материалы международной научно-практической конференции. 2010. С. 379-380.
[13]. Меньшутина Н.В., Каталевич А.М., Лебедев А.Е. Наноструктурированные материалы на основе диоксида кремния: аэрогель, ксерогель, криогель // Естественные и технические науки. 2013. № 2(64). С. 374-376.
[14]. Горелик П.И., Золотова Ю.С. Современные теплоизоляционные материалы и особенности их применения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 3 (18). С. 93-103.
[15]. T. Gaoa, T. Iharaa, S.Grynninga, B. Jelleb, A. Liend, Perspective of aerogel glazings in energy efficient buildings. Building and Environment, 2016, Vol. 95, pp. 405–413
[16]. Z. Liua, Y. Dinga, F. Wanga, Z. Dengbm, Thermal insulation material based on SiO2 aerogel. Construction and Building Materials, 2016, Vol. 122, pp. 548–555
[17]. Давыдова Е.И., Гнам П.А., Тарасова Д.С. Светопрозрачные конструкции и методы повышения их энергоэффективности // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2015. № 5 (32). С. 112-128.
[18]. Комарова Н.Д., Есипова А.А., Комарова К.С. Нанотехнологии в строительной отрасли // Университетская наука. 2016. № 1. С. 29-31.
[19]. N. Nazeran, J. Moghaddas, Synthesis and characterization of silica aerogel reinforced rigid polyurethane foam for thermal insulation application. Journal of Non-Crystalline Solids, 2017, Vol. 461, pp. 1–11
[20]. E. Strobach, B. Bhatia, S. Yang, L. Zhao, E. N. Wang, High temperature annealing for structural optimization of silica aerogels in solar thermal applications. Journal of Non-Crystalline Solids, 2017, Vol. 462, pp. 72–77
[21]. M. Ibrahim, P. Biwole, P. Achard, E. Wurtz, G. Ansart. Building envelope with a new aerogel-based insulating rendering: Experimental and numerical study, cost analysis, and thickness optimization. Applied Energy, 2015, Vol. 159, pp. 490–501
[22]. Блинцова А.С. Теплоизоляция на основе наноматериала аэрогель // Вопросы науки. 2015. Том 8. С. 24-27
[23]. Салимова Р.Р. Свойства и применение аэрогеля // Наука в современном обществе: закономерности и тенденции развития. Сборник статей международной научно-практической конференции: в 2 частях. 2016. С. 181-183.
[24]. Самсонова К.В., Прокопец В.С. Новейшие строительные технологии и материалы // Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России. Материалы

[11].Pustovgar A.P., Vedenin A.D. Teploizolyatsionnyye nanokompozity na osnove aerogelya kremnezema // Nauchno-tekhnicheskiy vestnik Povolzhya. 2013. № 1. S. 252-254.
[12].Yakubovskiy Yu. Ye., Lobach I. A. Ispolzovaniye aerogelya v kachestve teploizolyatsionnogo materiala magistralnykh truboprovodov // Problemy funktsionirovaniya sistem transporta. Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2010. S. 379-380.
[13].Menshutina N.V., Katalevich A.M., Lebedev A.Ye. Nanostrukturirovannyye materialy na osnove dioksida kremniya: aerogel, kserogel, kriogel // Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki. 2013. № 2(64). S. 374-376.
[14].Gorelik P.I., Zolotova Yu.S. Sovremennyye teploizolyatsionnyye materialy i osobennosti ikh primeneniya // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2014. № 3 (18). S. 93-103.
[15].T. Gaoa, T. Iharaa, S.Grynninga, B. Jelleb, A. Liend, Perspective of aerogel glazings in energy efficient buildings. Building and Environment, 2016, Vol. 95, pp. 405–413
[16].Z. Liua, Y. Dinga, F. Wanga, Z. Dengbm, Thermal insulation material based on SiO2 aerogel. Construction and Building Materials, 2016, Vol. 122, pp. 548–555
[17].Davydova Ye.I., Gnam P.A., Tarasova D.S. Svetoprozrachnyye konstruktsii i metody povysheniya ikh energoeffektivnosti // Stroitelstvo unikalnykh zdaniy i sooruzheniy. 2015. № 5 (32). S. 112-128.
[18].Komarova N.D., Yesipova A.A., Komarova K.S. Nanotekhnologii v stroitelnoy otrasli // Universitetskaya nauka. 2016. № 1. S. 29-31.
[19].N. Nazeran, J. Moghaddas, Synthesis and characterization of silica aerogel reinforced rigid polyurethane foam for thermal insulation application. Journal of Non-Crystalline Solids, 2017, Vol. 461, pp. 1–11
[20]. E. Strobach, B. Bhatia, S. Yang, L. Zhao, E. N. Wang, High temperature annealing for structural optimization of silica aerogels in solar thermal applications. Journal of Non-Crystalline Solids, 2017, Vol. 462, pp. 72–77
[21].M. Ibrahim, P. Biwole, P. Achard, E. Wurtz, G. Ansart. Building envelope with a new aerogel-based insulating rendering: Experimental and numerical study, cost analysis, and thickness optimization. Applied Energy, 2015, Vol. 159, pp. 490–501
[22].Blintsova A.S. Teploizolyatsiya na osnove nanomateriala aerogel // Voprosy nauki. 2015. Tom 8. S. 24-27
[23].Salimova R.R. Svoystva i primeneniye aerogelya // Nauka v sovremennom obshchestve: zakonomernosti i tendentsii razvitiya. Sbornik statey mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 2 chastyakh. 2016. S. 181-183.
[24].Samsonova K.V., Prokopets V.S. Noveyshiye stroitelnyye tekhnologii i materialy // Oriyentirovannyye fundamentalnyye i prikladnyye issledovaniya – osnova modernizatsii i innovatsionnogo razvitiya arkhitekturno-stroitelnogo i dorozhno-transportnogo kompleksov Rossii. Materialy mezhdunarodnoy 66-y nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2012. S. 191-194.
[25].Askhadullin R.Sh., Osipov A.A. Sintez nanostrukturnykh materialov iz metallicheskikh rasplavov i perspektivy ikh ispolzovaniya v razlichnykh oblastyakh nauki i tekhniki // Izvestiya vysshikh

международной 66-й научно-практической конференции. 2012. С. 191-194.
[25]. Асхадуллин Р.Ш., Осипов А.А. Синтез наноструктурных материалов из металлических расплавов и перспективы их использования в различных областях науки и техники // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2014. № 2. С. 35-42.
[26]. Асхадуллин Р.Ш., Осипов А.А., Скобеев Д.А. Жидкометаллическая технология синтеза анизотропного наноструктурного аэрогеля ALOOH // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2016. № 4. С. 91-101.
[27]. Нанотехнологии в строителстве [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URL http://www.nanonewsnet.ru/ (дата обращения: 24.02.2017)
[28]. Материалы. Аэрогель [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URL https://tim-firm.ru/catalog/alison/ (дата обращения: 23.02.2017)
[29]. Материалы. Аэрогель [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URL http://www.o-p-i.ru/katalog-produktsii/aerogeli/o-materiale.html (дата обращения: 23.02.2017)
[30]. Теплоизоляция. Аэрогель [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URL http://www.ecopotential.ru/good/233 (дата обращения: 23.02.2017)
[31]. Теплоизоляция. Аэрогель [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URL http://thermalinfo.ru/svojstva-materialov/strojmaterialy/teploprovodnost-plotnost-i-temperatura-primeneniya-teploizolyatsii-na-osnove-aerogelya (дата обращения: 23.02.2017)
[32]. Аэрогель. Стеклопакеты [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URL https://russian.worldbuild365.com/news/ngoxxxsbu/stroitelstvo-i-arkhitektura/chetyre-stroitelnykh-materiala-budushchego-na-rynke-2017-goda (дата обращения: 15.02.2017)
[33]. Аэрогель. Стеклопакеты [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URL http://www.wikipro.ru/index.php/Аэрогель_выходит_на_рынок_СПК (дата обращения: 15.02.2017)
[34]. Аэрогель. Стеклопакеты [электронный ресурс]. Систем. требования: Yandex. URL http://www.ecopotential.ru/good/670 (дата обращения: 15.02.2017)

uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika. 2014. № 2. S. 35-42.
[26].Askhadullin R.Sh., Osipov A.A., Skobeyev D.A. Zhidkometallicheskaya tekhnologiya sinteza anizotropnogo nanostrukturnogo aerogelya ALOOH // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika. 2016. № 4. S. 91-101.
[27].Nanotekhnologii v stroitelstve [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URL http://www.nanonewsnet.ru/ (data obrashcheniya: 24.02.2017)
[28].Materialy. Aerogel [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URL https://tim-firm.ru/catalog/alison/ (data obrashcheniya: 23.02.2017)
[29].Materialy. Aerogel [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URL http://www.o-p-i.ru/katalog-produktsii/aerogeli/o-materiale.html (data obrashcheniya: 23.02.2017)
[30].Teploizolyatsiya. Aerogel [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URL http://www.ecopotential.ru/good/233 (data obrashcheniya: 23.02.2017)
[31].Teploizolyatsiya. Aerogel [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URL http://thermalinfo.ru/svojstva-materialov/strojmaterialy/teploprovodnost-plotnost-i-temperatura-primeneniya-teploizolyatsii-na-osnove-aerogelya (data obrashcheniya: 23.02.2017)
[32].Aerogel. Steklopakety [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URL https://russian.worldbuild365.com/news/ngoxxxsbu/stroitelstvo-i-arkhitektura/chetyre-stroitelnykh-materiala-budushchego-na-rynke-2017-goda (data obrashcheniya: 15.02.2017)
[33].Aerogel. Steklopakety [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URL http://www.wikipro.ru/index.php/Aerogel_vykhodit_na_rynok_SPK (data obrashcheniya: 15.02.2017)
[34].Aerogel. Steklopakety [elektronnyy resurs]. Sistem. trebovaniya: Yandex. URL http://www.ecopotential.ru/good/670 (data obrashcheniya: 15.02.2017)

Макеева А.В., Виденков Н.В., Доброгорская Л.В., Семенов К.В., Федотов В.В. Инновационные материалы на основе аэрогеля в строительстве // Alfabuild. 2017. №1 (1). С. 89-98

Makeeva A.V., Videnkov N.V., Dobrogorskaya L.V., Semenov K.V., Fedotov V.V. Aerogel-based innovative materials in civil engineering. Alfabuild, 2017, 1 (1), Pp. 89-98(rus)

Aerogel-based innovative materials in civil engineering

A.V. Makeeva[1*], N.V. Videnkov [2], L.V. Dobrogorskaya [3], K.V. Semenov [4], V.V. Fedotov [5]

[1,2] Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info: review article

Abstract

Nowadays a lot of countries have national programs of nanotechnologies development. The application of those achievements becomes more popular in civil engineering. Aerogel is one of the innovative developments. The usage of materials based on aerogel in civil engineering has been analyzed in this article, particularly in civil engineering of Russian market segment. The perspectives of usage aerogel as construction material have been assessed.

Keywords: Nanotechnologies, aerogel, thermoinsulting materials, nanomaterials, translucent structures

Corresponding author:

1*. +7(981)8223463, nicealexa@mail.ru (Makeeva Aleksandra, Student)
2. +7(911)7562244, xnickid@gmail.com (Videnkov Nikita, Student)
3. +7(921)9215765, lubashka_95@mail.ru (Dobrogorskaya Luibov, Student)
4. +7(921)7811957, kvsemenov@bk.ru (Semenov Kirill, PhD, Associate Professor)
5. +7(981)8548910, fedotov-vova10@mail.ru (Fedotov Vladimir, Student)

Макеева А.В., Виденков Н.В., Доброгорская Л.В., Семенов К.В., Федотов В.В. Инновационные материалы на основе аэрогеля в строительстве / Makeeva A.V., Videnkov N.V., Dobrogorskaya L.V., Semenov K.V., Fedotov V.V. Aerogel-based innovative materials in civil engineering ©