

Перспективы применения аэрогелей в строительстве

И.Л. Васильева¹, Д.В. Немова²

^{1,2} Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, Россия, г. Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29

Информация о статье УДК 69

Аннотация

Ученые и инженеры во всем мире непрерывно совершенствуют и улучшают свойства теплоизоляционных материалов для экономии основных энергоресурсов здания. Эта статья посвящена инновационному теплоизоляционному материалу - аэрогелю (от лат. aer — воздух и gelatus — замороженный). Аэрогели являются новыми перспективными материалами, обладающими уникальным сочетанием таких свойств, как высокая пористость, низкая плотность и высокая удельная площадь поверхности. Эти свойства обусловлены наноструктурой аэрогеля. В статье подробно описан процесс получения аэрогеля. Представлены сравнительная таблица аэрогелей на разных основах (кварцевая, карбоновая и стекловолокно), а также сравнение пирогеля (Pyrogel) и криогеля (Cryogel), способных работать в широком диапазоне температур. Одним из продуктов на основе аэрогеля стал аэрокирпич, изобретенный в Швейцарии. Приведенные в статье примеры практического применения аэрогелей доказывают, что он, действительно, является эффективным теплоизолятором. На данный момент единственный из выявленных недостатков – дорогостоящий процесс изготовления. Ученые, занимающиеся изучением аэрогелей, ищут способ усовершенствования производства и его удешевление.

Ключевые слова: теплоизоляция, аэрогель, нанотехнологии, криогель, пирогель, аэрокирпич

Содержание

1. Введение	136
2. Обзор литературы	136
3. Заключение	141

Контактный автор:

1. +79095863919, iravassilek@mail.ru (Васильева Ирина Леонидовна, студент)
2. +79218900267, nemova_dv@spbstu.ru (Немова Дарья Викторовна, к.т.н., доцент)

1. Введение

Процесс энергосбережения становится все более важным приоритетом в политике многих стран мира. Причиной этому служит дефицит основных энергоресурсов, растущая цена на их добычу, а также мировые экологические проблемы окружающей среды [1]. Данная задача напрямую касается строительства, так как оно потребляет более 40% всех энергетических ресурсов планеты, а также является источником вредных выбросов углекислого газа и твердых отходов [2]. С каждым годом все более остро поднимаются вопросы о способах энергетического обеспечения зданий или технологических процессов на производстве с потреблением как можно меньшего количества энергии. Хотя в строительной отрасли постоянно появляются новые энергоэффективные материалы и инновационные технологии, поиск еще более перспективных решений не заканчивается. Новые идеи прежде всего должны отвечать таким требованиям как: практическая значимость, простота реализуемости, экономическая рациональность, экологическая и социальная безопасность и т.д.

Разработка и осуществление новых идей тесно связаны с такими понятиями, как «нанотехнологии» и «наноматериалы» [3-5]. Нанотехнологии занимаются созданием и изучением материалов, устройств и технических систем, функционирование которых определяется наноструктурой – структурой, состоящей из элементов с размером не более 1-100 нанометров.

Одной из многообещающих разработок в области нанотехнологий является аэрогель (в литературе также употребляются названия как «твердый газ», «замороженный дым»). Название материала говорит само за себя – это гель с высоким содержанием воздуха, который в полном объеме вытеснил жидкую фазу, вследствие чего вещество обладает рекордно малой плотностью, высокой пористостью и высокой площадью удельной поверхности [6]. Благодаря наноструктуре аэрогель имеет ряд уникальных характеристик, которые делают его совершенно особенным и конкурентоспособным продуктом на строительном рынке. За свои преимущества аэрогель попал в книгу рекордов Гиннеса, заняв 15 позиций.

2. Обзор литературы

Началом развития нанотехнологий можно считать 1931 год, когда был изобретен первый электронный микроскоп К. Кноллем и Э. Руска. Это событие по праву можно назвать прорывом для науки, так как только после этого ученые смогли увидеть объекты субмикронных и нанометровых размеров [7,8]. Этот же год считается датой появления первого аэрогеля, изобретателем которого стал Стивен Кистлер из Тихоокеанского колледжа (College of the Pacific) в Стоктоне (Калифорния, США). Первые результаты по извлечению жидкой составляющей из геля без усадки материала были опубликованы в общенаучном журнале «Nature» [9].

Последователи Кистлера подробно описывают процесс получения силикогелей в публикациях [10-14]. Авторы статей [15-19] представляют аэрогель как инновационный и перспективный материал, основываясь на его уникальных физико-механических свойствах. Ряд исследователей стали более досконально изучать возможности аэрогеля, не остановившись только на опытах с использованием диоксида кремния. В статье [20] приведены экспериментальные исследования по получению аэрогелей на основе меди и изучены их структурные особенности. В публикациях [21-23] представлены результаты по изучению свойств аэрогелей с применением алюминия. Значительное внимание в этих работах уделено жидкометаллическому методу получения таких аэрогелей. Из анализа этих статей следует, что он более прост, потому что не требует повышенного атмосферного давления и специальных реагентов, за счет чего снижается трудоемкость и стоимость производства аэрогеля.

Первыми, кто получил аэрогель в России, были сотрудники Института катализа им. Г.К. Борескова Сибирского Отделения Российской Академии Наук (г. Новосибирск) и сотрудники Объединенного Института Ядерных Исследований (г. Дубна) [24]. Самые передовые исследования в области аэрогелей сосредоточены в Китае и Соединенных Штатах Америки на сегодняшний день. Россия и страны Европы стремятся тоже не отставать в этом вопросе, поэтому количество новых открытий в данной сфере непрерывно растет [25].

В работах [26-29] подробно раскрывается вопрос о практическом использовании аэрогеля. Он нашел широкое применение в разных областях, например, в качестве ловушки космической пыли, газового или жидкостного фильтра, наполнителя в стеклопакетах, теплоизолятора для разного оборудования с высоко- и низкотемпературными процессами и т.д.

Огромный вклад в производство аэрогелей сделан такими компаниями как Aspen Aerogels (США), Чжэнчжоуская компания науки и техники Joda (Китай), ООО «ТИМ» (Россия), ООО «Объединенная промышленная инициатива» (Россия), ООО «Альмален» (Россия).

Получение аэрогеля

Аэрогель - совокупность глобул, размером в несколько нанометров, соединенных между собой разветвленной сетью мезопор, которые заполнены воздухом. Размер пор превышает размер самих кластеров в десять и более раз. Таким образом, материал, являясь твердым веществом, на 99% состоит из воздуха (рис.1) [14,29,30].



Чтобы получить такой исключительный материал, необходимо выполнить определенную цепочку технологических операций [14].

Для этого понадобится четыре вещества: тетраметаксисилан, метанол, концентрированный аммиак и вода. Отмеренное количество тетраметаксисилана и метанола помещают в лабораторный стакан с магнитным шариком (рис.2) [9], который под действием генератора вращающегося магнитного поля, перемешивает компоненты и образует однородную смесь.

При добавлении в нужном количестве воды, метанола и гидрата аммиака возникает химическая реакция, образуется двуокись кремния, смесь превращается в гель. В заранее приготовленные формы с метанолом заливают силикатно-гелевую смесь, которая со временем загустевает. Метанол испаряется, не давая гелю пересохнуть. Смесь твердеет достаточно быстро, но для полного отверждения геля нужны сутки, после чего силикагели вымачивают ежедневно в метаноловых ваннах в течение недели для удаления загрязнений из геля.



Рис.2 Магнитная мешалка

Существенное значение имеет последний процесс, именно от него зависит получится ли в дальнейшем аэрогель или нет. Этот процесс связан с сушкой, то есть с извлечением жидкой составляющей,

находящейся в порах аэрогеля, и создающей значительное давление. В порах кремнезема с размером 2 нм молекулы воды создают давление около 2000 МПа [14]. Высушивание на воздухе обычным образом создает большие внутренние напряжения в остове аэрогеля, что приводит к сдавливанию изнутри и последующему разрушению. Решение проблемы с высушиванием было найдено Кистлером в 30-х годах XX века – силикогель закладывают в автоклав, где достигаются экстремально высокая температура и сверхкритическое давление. К аппарату крепится шланг, по которому закачивается сжиженный углекислый газ, именно он заменяет метанол в порах. Нагретая до сверхкритического состояния двуокись кислорода диффундирует из геля, не нарушая его прочностной структуры. Таким образом, силикогель превращается в прозрачный твердый материал, состоящий в основном из воздуха и именуемый аэрогель.

В связи с крупными затратами на производство аэрогелей проводится множество экспериментов по всему миру, связанных с оптимизацией процесса сверхкритической сушки, т.е. уменьшения времени на его проведение, а также стоимости [22,25].

Свойства аэрогеля

Необычной структурой обусловлены уникальные свойства аэрогеля:

- 1) Легкий вес (состоит на 99% из воздуха, соответственно, не утяжеляют веса конструкций)

Плотность составляет от 1 до 150 кг/м³. Самый легкий из твердых материалов - графеновый аэрогель. Он был создан командой ученых из Китая (Отдел науки о полимерах и технологиях университета Чжэцзяна) на основе оксида графена или лиофилизированного углерода. Он настолько легок, что трава может выдержать его вес (рис.3). Его плотность составляет всего 0,16 кг/м³, но в тоже время - это очень прочный материал.

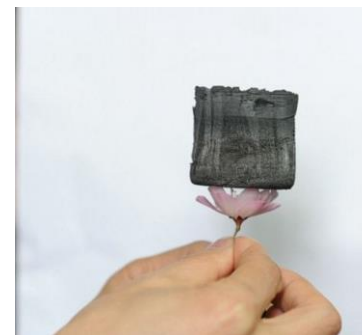


Рис.3 Графеновый аэрогель

- 2) Высокая удельная площадь поверхности

Интересным является факт, что кубик аэрогеля с гранью всего лишь в один дюйм обладает внутренней площадью пор, эквивалентной футбольному полю.

3) Теплопроводность

Низкая теплопроводность аэрогелей обеспечена за счет эффекта Кнудсена: аэрогель на 98-99% состоит из воздуха, из этого количества 75% находится в статическом состоянии, потому что величина пор меньше длины свободного пробега молекул газа воздуха и не позволяет им переносить энергию. По теплопроводности аэрогель занимает второе место (Коэффициент теплопроводности составляет 0,016 Вт/м.К при 10°С), уступая только самой лучшей теплоизоляции в мире на основе вакуума и оставляя далеко позади пенополиуретаны, минеральную вату и т.д. (рис.4).

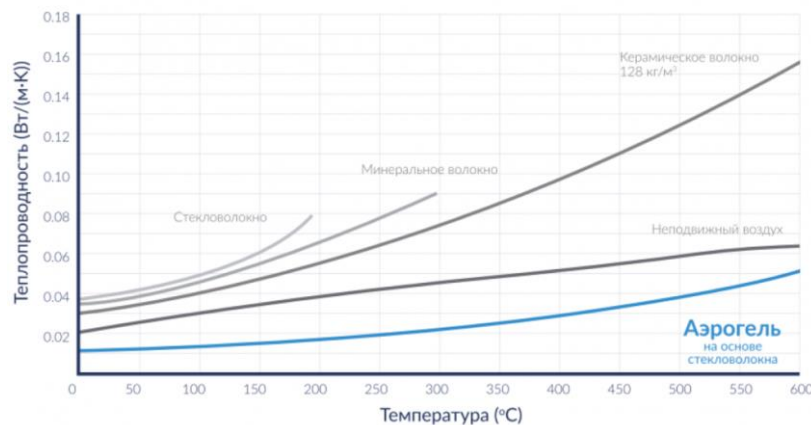


Рис.4 Теплопроводность аэрогеля

4) Гидрофобность

При производстве аэрогелевой теплоизоляции применяется технология открытых ячеек, которая способствует испарению всей влаги, попадающей внутрь теплоизоляционного слоя. Влагоизоляционная способность позволяет использовать аэрогель в условиях повышенной влажности, защищая от воздействия атмосферных осадков и предохраняя конструкции от коррозии.

5) Высокое сопротивление паропрооницанию

6) Аэрогели обладают сопротивлением паропрооницанию примерно в десять-пятнадцать раз выше, чем минеральные ваты.

7) Высокая прочность.

Образец аэрогеля может выдержать нагрузку в 2000 раз большую, чем собственный вес. Несмотря на такую прочность, аэрогель - хрупкий материал, но с появлением аэрографена данный недостаток был устранен. Аэрогели из графена и углеродных нанотрубок - эластичные и устойчивые к разрушению материалы.

8) Высокая отражающая способность.

Волна, проходящая через поверхность частично отражается, частично поглощается, частично проходит дальше. Некоторые аэрогели специально делаются с высокой оптической проницаемостью, в этом случае они практически прозрачные.

9) Шумоизоляционный материал.

Низкая скорость распространения звука в аэрогелях (до 100 м/с) позволяет использовать его в разных случаях: как шумоизоляционный материал для перегородок и перекрытий, для создания линий звуковой задержки и разных акустических систем.

10) Негорючий материал.

Класс НГ (на керамической основе) или Г1. Сохраняет высокие эксплуатационные качества при высоких температурах. Аэрогель – барьер на пути распространения огня и дыма, которое существенно продлевает временной интервал для организации и проведения мероприятий по тушению пожара.

Из дополнительных преимуществ аэрогелей можно выделить следующее:

1) Это экологически чистый и безвредный материал

2) Долговечность. Высокая прочность, гибкость и эластичность позволяет использовать изделия из аэрогеля в течение многих лет без явного снижения полезных свойств. Материал хорошо работает при циклическом температурном режиме. Превосходит аналоги по низким эксплуатационным и ремонтным затратам. Страховая гарантия на сохранение заявленных свойств на аэрогелевую теплоизоляцию составляет 25 лет. Расчетно-экспериментальная — свыше 100 лет.

- 3) Изделия из аэрогелей поставляются в виде рулонов и плоских элементов (рис.5) [31]. Их удобно грузить и хранить.

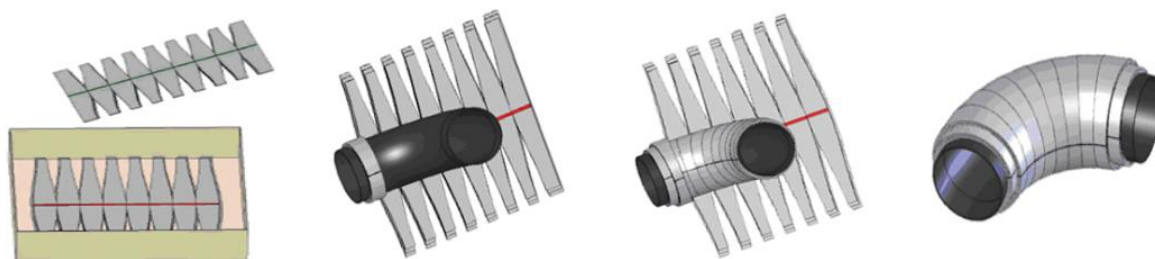


Рис. 5 Монтаж и фиксация изоляции из аэрогеля

- 4) Эстетичность. Трубопроводы, изолированные аэрогелем, не только надежно защищены от коррозии, но и выглядят аккуратно и эстетично.
- 5) Комбинация низкой теплопроводности и малой толщины позволяет применять материал там, где сочетаются высокие требования к теплоизоляции и ограничения по величине теплоизоляционного слоя.

К принципиальным недостаткам можно отнести только то, что операции и приемы, направленные на изготовление аэрогеля дорогостоящи. Также ученых и инженеров волнует факт недостаточной прозрачности аэрогеля, пока он имеет слегка желтоватый оттенок на светлом фоне, и светло-голубой на темном, это мешает использовать его в качестве остекления повсеместно. Поэтому сейчас в мировом научном сообществе решаются две основные задачи относительно этого уникального материала: первая – уменьшить стоимость технологии его производства, вторая – найти способ получать его полностью прозрачным.

Разновидности аэрогеля

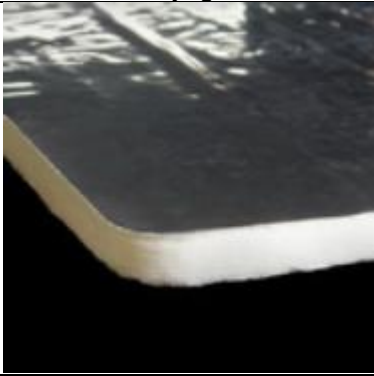

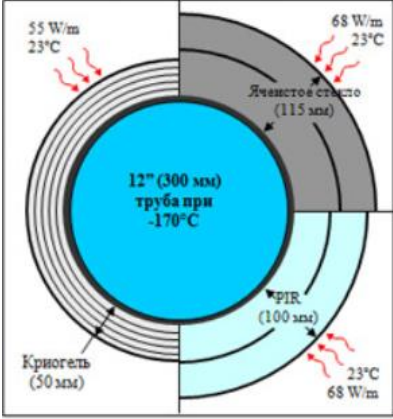
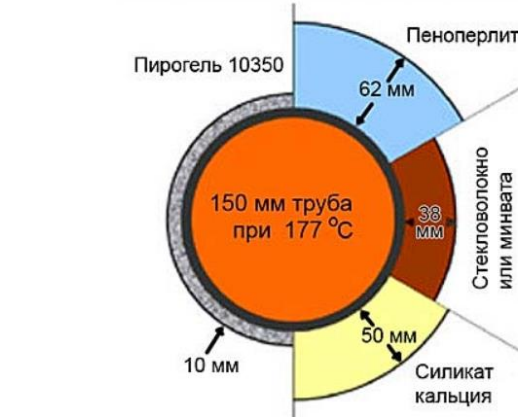
Выше был описан способ получения силикогеля - аэрогеля на керамической основе. В настоящее время популярностью пользуются также аэрогели на основе стекловолокна и карбона. Основа в аэрогеле выполняет роль скелета и значительно сказывается на свойствах и характеристиках аэрогеля (таб.1).

Таблица 1. Сравнение аэрогелей на разных основах

Характеристики аэрогелей	Основа аэрогеля		
	стекловолокно (Evergel)	керамическая (SACTT-X)	карбоновая (SACTT-A)
Максимальная температура применения	+675°C	+1000°C	+1000°C
Минимальная температура применения	-250°C	+12°C	0°C
Пожарная классификация	Г1 ¹ ,КМ1 ²	НГ,КМО	НГ,КМО
Класс акустической изоляции	A2,B2,C2 ³	A2,B2,C2	A2,B2,C2
Толщина	6,5 мм; 13 мм	3 мм; 6 мм; 10 мм	2 мм
Коэффициент теплопроводности	0,018-0,049 Вт/К·м	0,019-0,032 Вт/К·м	0,019-0,058 Вт/К·м
Прочность на сжатие при 10% деформации	не менее 10 кПа	не менее 30 кПа	не менее 70 кПа
Сорбционная влажность при:			
40% относительной влажности	0,05%	0,09%	0,06%
60% относительной влажности	0,07%	0,13%	0,08%
97% относительной влажности	0,10%	0,27%	0,12%
¹ Обозначение горючести (НГ- негорючий, Г4 полностью сгорает); ² Способность к горению строительных конструкций из материалов (К- конструкция, М- материал); ³ Классы звукоизоляции труб и арматуры трубопроводов в зависимости от вносимых потерь, номинальный диаметр трубы 300≤D<650 [32]			

Из нанопористого аэрогеля получают совершенно революционные материалы, к примеру, криогель (Cryogel) и пирогель (Pyrogel) (таб.2).

Таблица 2. Сравнение Cryogel и Pyrogel

Характеристика:	Cryogel	Pyrogel
Вид		
Применение	Предназначен для утепления труб и техники, работающей с низкими температурами. Предотвращает образование наледи и конденсата.	Применяется в системах трубопроводов, нефтехимических и газовых производствах с высокой температурой, резервуарах с различными химическими и ядовитыми веществами.
Диапазон рабочих температур	от -260°C до +90°C	от -40°C до + 650°C.
Гидрофобность	Водонепроницаем	Водонепроницаем
Горючесть	Слабогорючий (Г1)	Негорючий (НГ)
Необходимая толщина		

Применение аэрогелей в строительстве

В течение последних десятилетий XX века аэрогель как теплоизоляционный материал нашел применение на американских орбитальных кораблях типа «Space Shuttle», в марсианских роверах «Mars Pathfinder», «Opportunity», «Spirit»; как регистратор частиц внеземного происхождения – на космических аппаратах «Stardust», «Spacelab-II», «Eureca» [25,33]. Однако, за свои качества и характеристики аэрогель не ограничился лишь космической отраслью.

В строительной сфере аэрогели нашли применение в качестве теплоизолирующих и теплоудерживающих материалов для теплоизоляции стальных трубопроводов, зданий и сооружений [36]. Они способны эффективно работать в условиях высоких и сверхнизких, криогенных температур. Примером может служить одно из предприятий ОАО «Газпром» компрессорная станция «Северная» [34]. Этот объект нуждался в эффективной шумо- и теплоизоляции. С этими двумя задачами справился Pyrogel. Кроме того, при высоких температурах он не производит токсичных выбросов и не выделяет дыма, не дает распространяться огню, становится барьером и может обеспечивать сохранность оборудования от воздействия открытого огня в течение расчетного времени в отличие от минеральной ваты, которая уже при температуре свыше 150°C приводит не только к изменению геометрической формы конструкции, но и к скорому ухудшению ее теплотехнических свойств, а также к выделению вредных веществ.

Опыт ООО «ЛУКОЙЛ-Коми», применившего Pyrogel на паропроводах, показывает, что дополнительный плюс такой теплоизоляции – это ее маленькая толщина. По подсчетам геометрические размеры теплоизоляции Pyrogel в 2-3 раза меньше по сравнению с конструкциями из минеральной ваты для достижения такого же результата. К тому же, аэрогель является гидрофобным материалом, соответственно, будет защищать от появления коррозионных процессов. что значительно снижает потери энергии с поверхности теплоизолированного паропровода.

При проектировании трубопровода жидкого азота для компании «Австралийский Торговый Дом» свое применение нашел аэрогель Cryogel.

Shell применил на нефтеперегонном заводе в заливе Пьюджет-Саунд (побережье США) Pyrogel для теплоизоляции бензольных колонн (рис.6).



Рис.6 Применение Pyrogel

Учёные рассматривают возможность применения аэрогеля как заполнителя межстекольного пространства стеклопакета. Это связано с тем, что у аэрогеля более низкий коэффициент преломления, чем у стекла, они составляют 1,05 и 1,5 соответственно. С применением подобных материалов бесшовное фасадное остекление станет самым обычным архитектурским приемом в ближайшее время.

Аэрокирпич. При проектировании и строительстве зданий и сооружений используются различные стеновые конструкции. В основном пирог стены состоит из внутреннего (основного), теплоизоляционного и облицовочного слоев. Ученые из института Епра в Швейцарии поставили себе задачу интегрировать теплоизоляционный слой в основной, таким образом появился кирпич с заполненными аэрогелем пустотами (рис.7). Для его производства исследователями был разработан пастообразный материал с частицами аэрогеля, который может быть выдавлен или залит в любые отверстия или пустоты. Таким образом им можно легко заполнить пустоты в обычных полых кирпичах.



Рис.7 Аэрокирпич

По проведенным экспериментам теплотехнические показатели аэрокирпича определенно лучше, чем у кирпича с перлитовой засыпкой на 35% [26]. Одинаковые показатели теплопроводности у стены шириной 263 см из кирпича с перлитовой засыпкой и стены шириной 165 см из аэрокирпича, разница ощутима. При сравнении с обычным пустотелым кирпичом аэрокирпич в 8 раз лучше удерживает тепло.

3. Заключение

В результате проведенного анализа можно заключить следующее:

- 1) Аэрогель – очень интересный для проектировщиков и инженеров материал. Он очень легкий, не утяжеляет конструкцию, не горюч, водонепроницаем, экологически чист и главное – является эффективным теплоизолятором. Без этого материала нельзя обойтись при проектировании и строительстве уникальных и особо опасных зданий и сооружений, где порой требуются нестандартные подходы, так как классические решения не удовлетворяют поставленным задачам и не справляются с заданной нагрузкой.
- 2) На основе аэрогеля создаются совершенно уникальные материалы, как пирогель и криогель, способные работать в широком диапазоне температур (от -260°C до +650°C). Аэрогель применяется для заполнения стеклопакетов вместо стекла. С применением аэрогеля создается новая строительная конструкция – аэрокирпич.
- 3) Несмотря на бесспорные преимущества аэрогеля, процесс его производства сложен и трудоемок, и как следствие дорог. Это является единственной причиной того, что материал до сих пор не массово используется на строительном рынке.

Таким образом, вопрос о нахождении способа упростить и удешевить процесс производства аэрогеля остается открытым. Ученые по всему миру, занимающиеся изучением аэрогелей, сконцентрированы на этой задаче, так что остается надеяться, что в скором времени этот вопрос будет решен.

Литература

- [1]. Советников Д.О., Семашкина Д.О., Баранова Д.В., Оптимальная толщина утеплителя наружной стены для создания энергоэффективного и экологичного здания в условиях Санкт-Петербурга // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. №12 (51). С. 7-19.
- [2]. Игами М., Оказаки Т. Современное состояние сферы нанотехнологий: анализ патентов // Форсайт. 2008. № 3 (7). С. 32–43.
- [3]. Иванов И.Е. Экспериментальные исследования эффективной жидкой теплоизоляции по ГОСТ 7076-99 // Наука и образование: сохраняя прошлое, создаем будущее, сборник статей X Международной научно-практической конференции. Пенза. Изд-во: "Наука и Просвещение". 2017. С. 85-89.
- [4]. [Электронный ресурс] URL:http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/431265 (дата обращения: 25.10.2018).
- [5]. Якубовский Ю.Е., Лобач И.А. Использование аэрогеля в качестве теплоизоляционного материала магистральных трубопроводов/ / Сборник трудов конференции «Проблемы функционирования систем транспорта». 2010. С.379-380.
- [6]. Остапенко С.В. Наноматериалы как фактор технологического прорыва// Сборник трудов конференции «Механизмы развития современного общества». Зеленоград. Изд-во: ООО «Виктория плюс». 2014. С.65-66.
- [7]. Меньшутина Н.В., Катаевич А.М., Лебедев А.Е. Наноструктурированные материалы на основе диоксида кремния: аэрогель, ксерогель, криогель // Естественные и технические науки. 2013. №2. С. 374–376.
- [8]. Чиликина К.В., Халиуллина Л. Ф. Аэрогелевая изоляция в строительстве// Сборник трудов конференции «Новое слово в науке: стратегии развития». Чебоксары. Изд-во: ООО «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс». 2018. С.198-200.
- [9]. Меньшутина Н.В., Колнооченко А.В., Катаевич А.М. Исследование и моделирование структур неорганических аэрогелей // Теоретические основы химической технологии. 2014. № 3. С. 344–348.
- [10]. Пигалева М.А., Эльманович И.В., Темников М.Н., Галлямов М.О., Музафаров А.М. Кремнийорганические соединения в сверхкритическом диоксиде углерода: синтез, полимеризация, модификация, получение новых материалов// Высокомолекулярные соединения. 2016. № 3. С. 191–230.
- [11]. Морозов А.Н., Конькова Т. В., Гордиенко М.Г., Алехина М.Б., Меньшутина Н.В. Синтез силикогелей с регулируемой нанопористой структурой // Успехи в химии и химической технологии. 2013. №7. С. 90-96.
- [12]. Лермонтов С. А., Сипягина Н. А., Малкова А. Н., Баранчиков А. Е., Сидоров А. А., Ефимов Н. Н., Уголкина Е. А., Минин В. В., Иванов В. К., Еременко И. Л. Новые аэрогели, химически модифицированные аминокомплексами двухвалентной меди // Журнал неорганической химии. 2015. № 12. С. 1596–1601.
- [13]. [Электронный ресурс] URL: <http://himbio.ru/company/news/magnitnye-meshalki-dlya-osnashcheniya-laboratorii/> (дата обращения: 25.10.2018)
- [14]. [Электронный ресурс] URL: <http://www.aerogel-russia.ru/info/preimushestva-aerogel.html> (дата обращения: 25.10.2018)

References

- [1]. Sovetnikov D.O., Semashkina D.O., Baranova D.V., Optimalnaya tolshchina uteplatelya naruzhnoy steny dlya sozdaniya energoeffektivnogo i ekologichnogo zdaniya v usloviyakh Sankt-Peterburga // Construction of unique buildings and structures. 2016. №12 (51). S. 7-19.
- [2]. Igami M., Okazaki T. Sovremennoye sostoyaniye sfery nanotekhnologii: analiz patentov // Forsayt. 2008. № 3 (7). S. 32–43.
- [3]. Ivanov I.Ye. Eksperimentalnyye issledovaniya effektivnoy zhidkoy teploizolyatsii po GOST 7076-99 // Nauka i obrazovaniye: sokhranyaya proshloye, sozdayem budushcheye, sbornik statey X Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Penza. Izd-vo: "Nauka i Prosveshcheniye". 2017. S. 85-89.
- [4]. [Elektronnyy resurs] URL:http://elementy.ru/nauchno-populyarnaya_biblioteka/431265 (data obrashcheniya: 25.10.2018).
- [5]. Yakubovskiy Yu.Ye., Lobach I.A. Ispolzovaniye aerogelya v kachestve teploizolyatsionnogo materiala magistralnykh truboprovodov/ / Sbornik trudov konferentsii «Problemy funktsionirovaniya sistem transporta». 2010. S.379-380.
- [6]. Ostapenko S.V. Nanomaterialy kak faktor tekhnologicheskogo proryva// Sbornik trudov konferentsii «Mekhanizmy razvitiya sovremennoogo obshchestva». Zelenograd. Izd-vo: ООО «Viktoriya plus». 2014. S.65-66.
- [7]. Menshutina N.V., Katalevich A.M., Lebedev A.Ye. Nanostrukturirovannyye materialy na osnove dioksida kremniya: aerogel, kserogel, kriogel // Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki. 2013. №2. S. 374–376.
- [8]. Chilikina K.V., Khaliullina L. F. Aerogelovaya izolyatsiya v stroitelstve// Sbornik trudov konferentsii «Novoye slovo v nauke: strategii razvitiya». Cheboksary. Izd-vo: ООО «Tsentr nauchnogo sotrudnichestva «Interaktiv plus». 2018. S.198-200.
- [9]. Menshutina N.V., Kolnoochenko A.V., Katalevich A.M. Issledovaniye i modelirovaniye struktur neorganicheskikh aerogelov // Teoreticheskiye osnovy khimicheskoy tekhnologii. 2014. № 3. S. 344–348.
- [10]. Pigaleva M.A., Elmanovich I.V., Temnikov M.N., Gallyamov M.O., Muzafarov A.M. Kremniyorganicheskiye soyedineniya v sverkhkriticheskom diokside ugleroda: sintez, polimerizatsiya, modifikatsiya, polucheniye novykh materialov// Vysokomolekulyarnyye soyedineniya. 2016. № 3. S. 191–230.
- [11]. Morozov A.N., Konkova T. V., Gordiyenko M.G., Alekhina M.B., Menshutina N.V. Sintez selikogelov s reguliruyemoy nanoporistoy strukturoy // Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii. 2013. №7. S. 90-96.
- [12]. Lermontov S. A., Sipyagina N. A., Malkova A. N., Baranchikov A. Ye., Sidorov A. A., Yefimov N. N., Ugolokova Ye. A., Minin V. V., Ivanov V. K., Yeremenko I. L. Novyye aerogeli, khimicheski modifitsirovannyye aminokompleksami dvukhvalentnoy medi // Zhurnal neorganicheskoy khimii. 2015. № 12. S. 1596–1601.
- [13]. [Elektronnyy resurs] URL: <http://himbio.ru/company/news/magnitnye-meshalki-dlya-osnashcheniya-laboratorii/> (data obrashcheniya: 25.10.2018)
- [14]. [Elektronnyy resurs] URL: <http://www.aerogel-russia.ru/info/preimushestva-aerogel.html> (data obrashcheniya: 25.10.2018)

- [15]. А.В. Бушманова, Н.В. Виденков, Л.В. Доброгогорская, К.В. Семенов, В.В. Федотов. Инновационные материалы на основе аэрогеля в строительстве // *Alfabuild*.2017. №1 (1). С. 89–98.
- [16]. Шалыгин С.А., Аниканова Л.А., Солоницина Н.О.Наноматериалы в строительстве. Материалы Международной научной конференции молодых ученых. 2014. С. 684-688.
- [17]. 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.
- [18]. Горелик П.И., Золотова Ю.С. Современные теплоизоляционные материалы и особенности их применения // *Строительство уникальных зданий и сооружений*. 2014. № 3 (18). С. 93-103.
- [19]. Михайлов И.М. Аэрогель в гражданском строительстве. Применение и перспективы развития//Международные научно-практические конференции. М. Изд-во: ИП Коротких А.А. 2018. С.397-404.
- [20]. 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.
- [21]. 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.
- [22]. Мартынов П.Н., Асхадуллин Р.Ш., Юдинцев П.А. Аэрогель ALOOH: получение, свойства, применение // *Нанотехника*. 2006. №1(5). С.35-41.
- [23]. Фаликман В.Р. Наноматериалы и нанотехнологии в производстве строительных материалов// *Вестник НИЦ Строительство*. 2017. № 1 (12). С. 68-79.
- [24]. Pierre A. C., Pajonk G. M. Chemistry of Aerogels and Their Applications //*Chemical Reviews*. – 2002. – V. 102, № 11. – P. 4243-4266.
- [25]. 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(8). С.46-52.
- [26]. Чиликина К.В., Халиуллина Л. Ф. Аэрогелевая изоляция в строительстве// *Сборник трудов конференции «Новое слово в науке: стратегии развития»*. Чебоксары. Изд-во: ООО «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс». 2018. С.198-200.
- [27]. Valachova D. ; Zdrzilova N . ; Panovec V.; Skotnicova I. Using of aerogel to improve thermal insulating properties of windows // *Civil and environmental engineering*. 2018. №1. P. 2-11.
- [28]. Лебедев А.Е. Моделирование и масштабирование процессов получения аэрогелей и функциональных материалов на их основе. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук Направление 05.17.08. М., 2015. – 156 с.
- [29]. Смирнов Б.М. Аэрогели//*Успехи физических наук*. 1987. №1. С. 133-156.
- [30]. Блинцова А.С. Теплоизоляция на основе наноматериала Аэрогель//*Вопросы науки*. 2015. С.24-27.
- [31]. *Interplanetary Dust*. Springer / E. Grun [et al.] // *Astronomy and Astrophysics Library*. 2001. P. 804.
- [32]. ГОСТ Р ИСО 15665-2007
- [33]. [Электронный ресурс] URL: <http://www.aerogel-russia.ru/info/169-kompressornaya-stanciya-severn.html> (data obrashcheniya: 25.10.2018)
- [15]. A.V. Bushmanova, N.V. Videnkov, L.V. Dobrogorskaya, K.V. Semenov, V.V. Fedotov. Innovatsionnyye materialy na osnove aerogelya v stroitelstve // *Alfabuild*.2017. №1 (1). С. 89–98.
- [16]. Shalygin S.A., Anikanova L.A., Solonitsina N.O.Nanomaterialy v stroitelstve. Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh. 2014. S. 684-688.
- [17]. 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.
- [18]. Gorelik P.I., Zolotova Yu.S. Sovremennyye teploizolyatsionnyye materialy i osobennosti ikh primeneniya // *Construction of unique buildings and structures*. 2014. № 3 (18). S. 93-103.
- [19]. Mikhaylov I.M. Aerogel v grazhdanskom stroitelstve. Primeneniye i perspektivy razvitiya//*Mezhdunarodnyye nauchno-prakticheskiye konferentsii*. M. Izd-vo: IP Korotkikh A.A. 2018. S.397-404.
- [20]. Askhadullin R.Sh., Osipov A.A. Sintez nanostrukturnykh materialov iz metallicheskiy rasplavov i perspektivy ikh ispolzovaniya v razlichnykh oblastiakh nauki i tekhniki // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika*. 2014. № 2. S. 35-42.
- [21]. Askhadullin R.Sh., Osipov A.A., Skobeyev D.A. Zhidkometallicheskaya tekhnologiya sinteza anizotropnogo nanostrukturного aerogelya ALOOH // *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Yadernaya energetika*. 2016. № 4. S. 91-101.
- [22]. Martynov P.N., Askhadullin R.Sh., Yudinsev P.A. Aerogel ALOOH: polucheniye, svoystva, primeneniye // *Nanotekhnika*. 2006. №1(5). S.35-41.
- [23]. Falikman V.R. Nanomaterialy i nanotekhnologii v proizvodstve stroitelnykh materialov// *Vestnik NITs Stroitelstvo*. 2017. № 1 (12). S. 68-79.
- [24]. Pierre A. C., Pajonk G. M. Chemistry of Aerogels and Their Applications //*Chemical Reviews*. – 2002. – V. 102, № 11. – P. 4243-4266.
- [25]. 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(8). S.46-52.
- [26]. Chilikina K.V., Khaliullina L. F. Aerogelelevaya izolyatsiya v stroitelstve// *Sbornik trudov konferentsii «Novoye slovo v nauke: strategii razvitiya»*. Cheboksary. Izd-vo: ООО «Tsentr nauchnogo sotrudnichestva «Interaktiv plyus»». 2018. S.198-200.
- [27]. Valachova D. ; Zdrzilova N . ; Panovec V.; Skotnicova I. Using of aerogel to improve thermal insulating properties of windows // *Civil and environmental engineering*. 2018. №1. P. 2-11.
- [28]. Lebedev A.Ye. Modelirovaniye i masshtabirovaniye protsessov polucheniya aerogeley i funktsionalnykh materialov na ikh osnove. Dissertatsiya na soiskaniye uchenoy stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk Napravleniye 05.17.08. M., 2015. – 156 s.
- [29]. Smirnov B.M. Aerogeli//*Uspekhi fizicheskikh nauk*. 1987. №1. S. 133-156.
- [30]. Blintsova A.S. Teploizolyatsiya na osnove nanomateriala Aerogel//*Voprosy nauki*. 2015. S.24-27.
- [31]. *Interplanetary Dust*. Springer / E. Grun [et al.] // *Astronomy and Astrophysics Library*. 2001. P. 804.
- [32]. ГОСТ R ISO 15665-2007

(дата обращения: 25.10.2018)
[34]. Шемаев А.Н., Лещев С.И. Материаловедение и нанотехнологии в строительстве // Сборник трудов конференции «Международный студенческий строительный форум – 2017». Белгород. Изд-во: БГТУ им. Шухова. 2017. С.402-406.

Васильева И.Л., Немова Д.В., Перспективы применения аэрогелей в строительстве// Alfabuild. 2018. №4(6). С. 135-145

[33]. [Elektronnyy resurs] URL: <http://www.aerogel-russia.ru/info/169-kompressornaya-stanciya-severn.html> (data obrashcheniya: 25.10.2018)

[34]. Shemayev A.N., Leshchev S.I. Materialovedeniye i nanotekhnologii v stroitelstve // Sbornik trudov konferentsii «Mezhdunarodnyy studencheskiy stroitelnyy forum – 2017». Belgorod. Izd-vo: BGTU im. Shukhova. 2017. S.402-406.

Vasileva I., Nemova D. Prospects of using aerogels in construction. Alfabuild, 2018, 4(6), Pp. 135-145(rus)

Prospects of using aerogels in construction

I. Vasileva¹, D. Nemova²

^{1,2} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, 29 Politechnicheskaya St., St. Petersburg, 195251, Russia

Article info review article

Abstract

Scientists and engineers around the world are continuously improving the properties of thermal insulation materials. It is a necessary process to save the basic energy resources of a building. This article is devoted to the innovative heat-insulating material – aerogel. Aerogels are new materials with a unique combination of such properties as high porosity, low density and high specific surface area. These properties are due to the aerogel nanostructure. The article describes in detail the process of obtaining aerogel. There is a comparative table of aerogels on different bases (quartz, carbon fiber and fiberglass), as well as a comparison of Pyrogel and Cryogel. One of the products on the basis of aerogel is an airbag, invented in Switzerland. The examples of practical application of aerogels given in the article prove that it is an effective heat insulator. Today, one of the identified deficiencies is an expensive manufacturing

Keywords: thermal insulation, aerogel, nanotechnology, cryogel, pyrogel, airbag

Corresponding author

1. +79095863919, iravassilek@mail.ru (Vasileva Irina, Student)
2. +79218900267, nemova_dv@spbstu.ru (Nemova Darya, Ph.D., Associate Professor)