

3 лекция. Применение энергоэффективных ограждающих конструкций в современной архитектуре.

Краткая аннотация:

Приводятся примеры современных и перспективных ограждающих конструкций и их формообразующего потенциала для применения в архитектуре.

Лекционный материал:

I. Эффективные ограждающие конструкции, как один из аспектов энергоэффективного здания

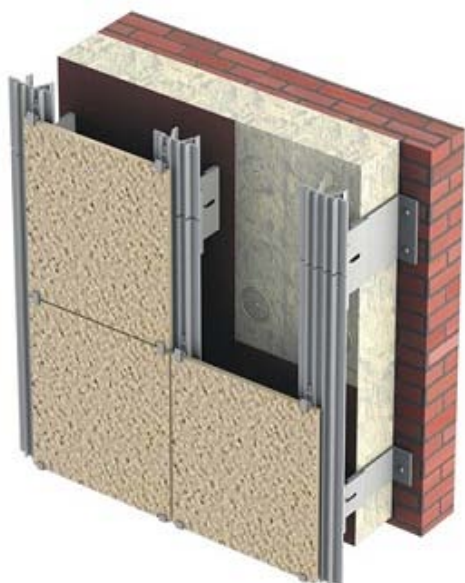
Исторически сложилось, что энергоэффективность никогда не была приоритетной задачей в нашей стране. Это связано с большим количеством и, следовательно низкой ценой на энергетические ресурсы в России. Но сегодня мировая тенденция, ориентированная на энергоэффективность начинает влиять и на российскую архитектурно-строительную сферу. Одним из архитектурных приемов повышения энергоэффективности здания является использование материалов, способных уменьшить теплопотери здания и сделать внутренний микроклимат более комфортным. Сегодня такая сфера деятельности человека, как разработка различных энергоэффективных материалов активно развивается. Есть решения, которые используются повсеместно. Другие - находятся на начальной стадии разработок. Но все они, несомненно, заслуживают внимания.

II. Распространенные варианты энергоэффективных ограждающих конструкций.

II.1 Вентилируемый фасад

Навесные вентилируемые фасады начали применяться в России относительно недавно, около 15 лет назад, несмотря на то, что в Западной Европе они были распространены уже 40 лет назад. Вентилируемые фасады обретают все большую популярность сегодня. Это связано с тем, что они могут применяться практически во всех климатических условиях, обеспечивают хорошую тепло- и звукоизоляцию, значительно повышают энергоэффективность здания. Вентилируемые фасады долговечны – гарантированный срок службы составляет 50 лет, что подтверждено результатами технических испытаний.

Конструктивные особенности



Навесной фасад может крепиться на несущую или самонесущую стену, выполненную из различных материалов (кирпич, бетон и пр.). Подоблицовочная конструкция фасада состоит из кронштейнов, которые крепятся непосредственно на стену, и несущих профилей, устанавливаемых на кронштейны. На несущие профили, образующие каркасную систему, с помощью специальных элементов крепежа монтируются плиты (листы) облицовки. Несущие элементы каркаса должны выдерживать нагрузку от поддерживаемого ими дождевого экрана, обладать требуемым пределом огнестойкости, а также высокой коррозионной устойчивостью. Допускается применение нержавеющей, алюминиевых или стальных кронштейнов.

Для крепления системы используются анкерные и тарельчатые дюбели. К применению допускаются только специальные дюбели, которые прошли испытания на прочность и надежность. Расчет количества дюбелей на 1 м² производится исходя из ожидаемой ветровой нагрузки и собственного веса системы.

Наличие воздушного зазора в вентилируемом фасаде принципиально отличает его от других типов фасадов. За счет разницы температур с внешней и внутренней сторон ограждающей конструкции возникает перепад давления и, как следствие, восходящий воздушный поток. В результате несущая стена и утеплитель избавляются от конденсата и атмосферной влаги.

Кроме того, воздушный зазор сам по себе является температурным буфером. Температура воздуха в нем на 2-3 градуса выше, чем снаружи.

При проектировании конструкций фасада с вентиляционным зазором необходимо соблюсти баланс, обеспечивающий беспрепятственный и эффективный воздушный поток по всей поверхности стены. Сводом правил СП 23-101-2000 «Проектирование тепловой защиты зданий» декларирована ширина воздушного зазора от 40 до 100 мм (для сравнения, в странах Западной Европы рекомендованная ширина зазора – от 25 до 50 мм). Конечно, если сделать воздушный зазор меньше указанной нормы, можно сэкономить на крепежном материале. Однако при наличии неровностей стены произойдет сопряжение утеплителя с облицовочными панелями, что нивелирует все положительные свойства навесного фасада.

Не рекомендуется и излишнее увеличение воздушного зазора. При величине больше 100 мм возникает мощная тяга, которая снижает пожарную безопасность здания, увеличивает вероятность выветривания утеплителя и может сопровождаться характерными звуковыми эффектами – «завываниями в трубе».

Требования к утеплителю в системе навесных вентилируемых фасадов:

- Стойкость к знакопеременному температурному режиму эксплуатации
- Высокая паропроницаемость
- Высокая биостойкость
- Стойкость к выветриванию
- Плотность плит утеплителя должна быть не менее 100 кг/м³. (В противном случае увеличивается вероятность его «выветривания», что приводит к утрате размеров, истончению и сползанию плит и, как следствие, образованию «мостиков холода»).
- Минимальное водопоглощение. (Иначе, это деформация плит, в результате чего возможно «слипание» утеплителя и облицовочных панелей, что влечет за собой

нарушение всего цикла вентиляции и выступание влаги на декоративной внешней поверхности).

Оптимальным выбором для вентилируемых фасадов является теплоизоляция на основе каменной ваты. Гидрофобизированные плиты на основе горных пород базальтовой группы характеризуются негорючестью, высокими теплоизолирующими свойствами, стабильностью размеров, а также долговечностью (свыше 50 лет).

Материалы и компоненты

Требования

Строительное основание (бетон, кирпич)

Прочность $\geq 0,08$ МПа

Неплоскость ≤ 1 см/2м.

Плиты утеплителя (каменная вата)

Плотность 100–180 кг/м³

Водопоглощение по объему $\leq 1,5\%$

Прочность на отрыв слоев ≥ 3 кПа

Облицовочные панели

Водопоглощение $\leq 0,5$ кг/(м² ч)

Морозостойкость ≥ 75 циклов

Линейная усадка $\leq 0,1\%$

Коэффициент линейного расширения $\leq 1 \cdot 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$

Преимущества использования системы вентилируемого фасада

- Снижение содержания воды в бетоне или кирпиче примерно на 3-4%
- Повышение теплоизоляционных характеристик стены в 1,5 раза.
- Длительная эксплуатация
- Возможность применения различных облицовочных материалов
- Высокая ремонтпригодность
- Отсутствие температурных деформаций
- Защищенность от атмосферных воздействий
- Высокая пожаростойкость
- Повышение шумоизоляции и шумопоглощения
- Повышение уровня энергосбережения здания

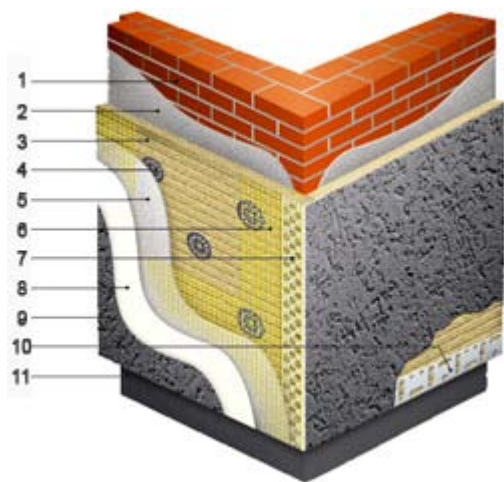
II.2 «Мокрый» фасад

В условиях сурового российского климата применение современных теплотехнических решений является настоящей необходимостью. Особая роль в повышении энергоэффективности домов отводится устройству систем наружного утепления фасадов мокрого типа с применением теплоизоляции из минеральной ваты и фасадного пенопласта. Наряду с наружными вентилируемыми фасадными системами утепления, в России приобрели популярность современные штукатурные или мокрые фасады.

Мокрая технология утепления фасадов пенопластом и минеральной ватой, их наружной штукатурки уже несколько десятилетий широко используется для устройства мокрых фасадов в Западной Европе. У нас этот вид наружной теплоизоляции фасадов с устройством штукатурки по минеральной вате или фасадному пенопласту появился сравнительно недавно. Мокрый, штукатурный тип фасадных систем теплоизоляции как нельзя лучше подходит для устройства утепления фасадов в разнообразных климатических условиях российских регионов, широко применяется на Крайнем Севере и Якутии.

Устройство мокрого фасада.

Устройство мокрого фасада с тонким штукатурным слоем по теплоизоляции представляет собой сложную многослойную наружную конструкцию. При монтаже и отделке мокрого фасада, используются процессы с применением воды. Теплоизоляция мокрого фасада из минеральной ваты или фасадного пенопласта крепится к наружной стене дома штукатурным клеевым раствором и фасадными дюбелями. Затем на наружной поверхности фасадного утеплителя из этих же клеевых растворов выполняют устройство тонкого, но прочного защитного слоя штукатурки, армированного стеклосеткой, наконец, наружная декоративная штукатурная отделка мокрого фасада. Для устройства наружной отделки используют современные минеральные, акриловые или силикатные фасадные штукатурки. Отделка мокрого фасада современными тонкослойными штукатурными материалами позволяет снизить до минимума нагрузку на утеплитель из минеральной ваты или пенопласта, стену дома и фундамент.



1. Наружная стена (бетон, кирпич, пористый бетон, OSB)
2. Клеевой штукатурный состав
3. Утеплитель (фасадный пенопласт или минеральная вата)
4. Дюбель для теплоизоляции
5. Армирующая штукатурка по утеплителю

6. Сетка армирующая штукатурку
7. Профиль штукатурный угловой ПВХ
8. Грунт под декоративную штукатурку
9. Наружная декоративная штукатурка
10. Профиль цокольный
11. Цоколь здания

Выбор утеплителя для устройства системы мокрого фасада.

Основным элементом, определяющим свойства, особенности устройства современного штукатурного фасада, является утеплитель. Выбор утеплителя определяет состав остальных компонентов наружной системы утепления, начиная от штукатурной клеевой смеси и заканчивая декоративными штукатурками. Как правило для устройства утепления используется современная теплоизоляция из минеральной ваты или пенопласт.

Минеральная вата. Современный утеплитель из минваты при устройстве системы имеет два основных преимущества, это негорючесть и высокая паропроницаемость наружной теплоизоляции. Его применение для утепления значительно шире и предпочтительнее чем устройство теплоизоляции из пенопласта. Современная минвата, в отличие от пенопласта, при утеплении оказывает незначительное сопротивление парам воды, они легко проникают сквозь утеплитель, штукатурку, а конденсат эффективно удаляется. Дом через штукатурку дышит. При наружном утеплении дома минплитой, устройство отделки можно проводить только минеральными или современными полимерными штукатурками с высокой паропроницаемостью. Утеплитель применяемый при наружном утеплении мокрых фасадов домов должен быть высокой плотности 140-180 кг/м³.

Пенопласт. Этот теплоизоляционный материал имеет низкую паропроницаемость, оказывает при утеплении большое сопротивление проникновению паров воды. Это создает определенную проблему при устройстве и наружном утеплении пенопластом мокрых фасадов. В наружной стене дома, утепление которой выполнено фасадным пенопластом, содержание паров при устройстве системы будет несколько выше, что создаст условия для ее увлажнения. Пенопласт имеет худшие показатели по пожаробезопасности (Г1-Г4), относится к горючим материалам. Для устройства наружной отделки пенопласта можно применять любые современные фасадные штукатурки.

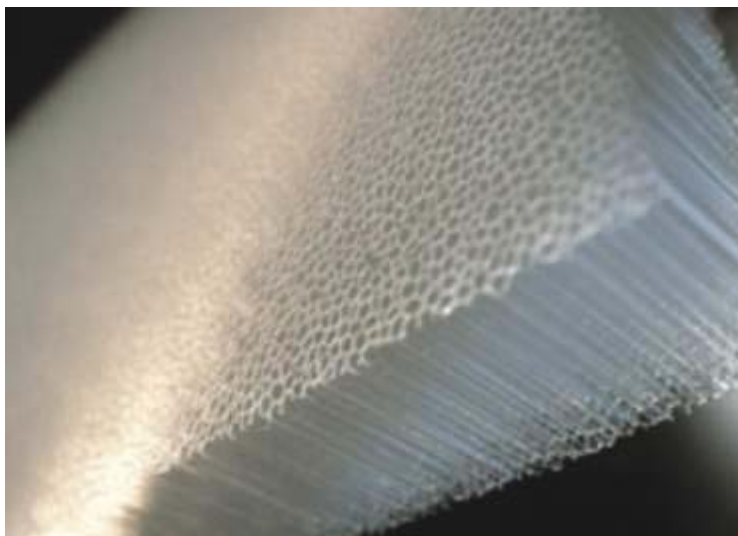
Преимущества использования мокрого фасада

- Значительное повышение теплоизоляции стен
- Снижение затрат на отопление
- Создание комфортного микроклимата в помещении
- Снижение затрат на строительство (за счет облегчения конструкции стен)
- Радикальное улучшение звукоизоляции
- Защита межпанельных швов в реконструируемых зданиях
- Повышение уровня энергосбережения здания

III. Инновационные разработки в области энергоэффективных ограждающих конструкций

III.1 Теплоизоляционные материалы

III.1.1 Прозрачная теплоизоляция



TWD (transparente Waermedaemmung)

Название „прозрачная теплоизоляция“ относится к классу теплоизоляционных материалов свободно пропускающих солнечный свет. Дома с такой системой теплоизоляции могут эффективно использовать энергию солнца для отопления.

Такой способ утепления фасадов зданий позволяет, во-первых, минимизировать тепловые потери и, во-вторых, получать энергию для отопления помещений, абсорбируя и накапливая энергию солнечного света.

Отличным примером здесь служит шкура белого медведя. мех этих полярных животных отлично защищает от холода, предотвращая тепловые потери. Но тот же мех беспрепятственно пропускает солнечный свет к коже зверя, согревая его даже в лютые морозы.

Виды прозрачной теплоизоляции. Основные свойства.

Понятие ПТИ включает в себя обширную группу светопрозрачных материалов, например, акриловую пену, капиллярное стекло, сотовый поликарбонат. Кроме прозрачности, общими свойствами этих материалов являются: пористая или трубчатая структура – они примерно на 95% состоят из воздуха, благодаря чему они обладают великолепной теплоизоляцией; очень мелкий размер пор, из-за чего в них практически отсутствует конвекция воздуха; и эти материалы непрозрачны для теплового излучения. Слой такого материала толщиной 20мм в 3 раза лучше сохраняет тепло, чем толстая кирпичная стена толщиной 510мм традиционного российского дома!

Наилучшими свойствами обладают материалы, называемые аэрогелями, в частности, силикагель – материал на основе кремниевой кислоты. Этот материал был изобретен немецким ученым Кистлером в 1931 году, однако практическое применение он получил лишь в последние годы. Размер микропор в силикагеле намного меньше длины волны видимого света, и вследствие малого рассеивания образцы толщиной 12мм на 10% прозрачнее, чем двухслойное остекление! На просвет силикагель имеет чуть желтоватый оттенок.

Исходя из технологии производства и ради избежания загрязнений ПТИ заключают между двумя стеклами в рамах из различных материалов, то есть, по сути дела, в стеклопакет.

Принцип действия

Пассивное использование солнечной энергии при применении „прозрачной теплоизоляции“ происходит в несколько этапов. Прозрачный верхний слой термоизоляционного материала пропускает солнечный свет к внутреннему слою световодных трубок. Слой этот можно представить себе в виде множества связанных вместе прозрачных соломинок. С их помощью свет попадает на чёрный абсорбирующий слой, где он и преобразуется в тепло, которое в свою очередь накапливается в стене.

Тепло зимой – прохладно летом

Благодаря горизонтальному расположению световодов, зимнее солнце, которое не поднимается высоко над горизонтом, беспрепятственно проникает к абсорбирующему слою. И наоборот: солнце летом бликует и отражается от поверхностного слоя и капилляров, не доходя до стен дома, что и препятствует нежелательному нагреву помещений в теплое время года.

По данным производителей, на южных фасадах зданий, оборудованный такой „прозрачной теплоизоляцией“, можно получать до 120 кВт*ч с квадратного метра поверхности за отопительный сезон.

Применение.

Используется в строительстве ПТИ двояким образом.

Первый вариант, который ученые считают наиболее перспективным, это как раз принцип «белого медведя». Прозрачная теплоизоляция размещается перед массивной стеной из бетона или иного тяжелого материала, наружная сторона которой окрашивается в черный цвет и которая играет роль накопителя тепловой энергии. Солнечное излучение проникает сквозь ПТИ и на черной поверхности стены преобразуется в тепловую энергию. Стена, в свою очередь, постепенно отдает тепло внутрь здания.

Таким образом, стены дома больше берут тепла от солнца, чем отдают его наружу! «Мы отапливаем дом стенами...» – так говорит о своем доме Вильгельм Шталь. А как отрегулировать такую систему отопления, когда на улице светит нещадное солнце и отметка термометра ползет к 30С? Очень просто: между наружным стеклом и ПТИ размещается затеняющее устройство, которое регулируется автоматическими датчиками, и которое опускается при высокой уличной температуре, обеспечивая оптимальный поток энергии и максимальный комфорт в здании. Как уже показала практика, температура внутренней поверхности стены с прозрачной теплоизоляцией в среднем за зимний сезон на 2°С выше, чем стены с непрозрачным утеплением, что обеспечивает оптимальные условия теплового комфорта для жителей.

Еще одним из экспериментальных объектов, на которых была проверена ПТИ была Паул–Робертсон–школа в Лейпциге. Проведенные измерения показали, что после реконструкции школы с ее утеплением, прозрачной теплоизоляцией расходы на отопление снизились от 225кВтчас/м² до 58кВтчас/м², что означает уменьшение потерь энергии на 70%.

Второй вариант использования ПТИ – наружные стены, сочетающие в себе обычные окна и ПТИ, что значительно увеличивает их светопропускание. Многих наших туристов на

Западе вводят в заблуждение кристаллы зданий, когда все наружные стены кажутся состоящими из стекла. На самом деле, как правило, это – навесные стеклянные фасады, за которыми скрываются массивные стены с окнами обычного размера. И лишь ПТИ дает реальную возможность без ущерба для сохранения тепла и теплового комфорта людей делать стены практически полностью прозрачными, открывая архитекторам новые, неизвестные ранее возможности.

Устойчивое санирование жилых зданий в районе Берлин-Кёпеник

Жилищная организация Koewoге управляет примерно 15.000 квартирами на юго-востоке Берлина. К ним относятся и 1.000 квартир в Берлине-Фридрихсхагене, построенные в 60-х годах. С 1998 здесь в рамках программы «Энергоэффективное санирование EnSan» Федерального Министерства экономики были реализованы два демонстрационных проекта устойчивой экономии энергии. В течении двух лет измерялась реально полученная экономия энергии. Мероприятия проводились в панельных домах без отселения жильцов, так что проект имеет показательный характер для модернизации подобных зданий.

На Эмрихштрассе расположены три здания типа QX с 32 квартирами в каждом, построенные в 1965 г. Речь идет о первых зданиях со стеновыми элементами высотой в целый этаж, предвестников общеизвестных «панельных» домов. Квартиры имеют по 2-3 комнаты и жилую площадь 52 и 72 м². Кухня и санузел расположены отдельно и имеют по одному окну.

После 30-летней эксплуатации инженерное оборудование зданий было изношено. Коэффициент теплопередачи фасада и окон не соответствовали современным требованиям. Затраты на отопление достигали в среднем 195 кВтч/м² в год. В угловых помещениях они даже достигали значений свыше 270 кВтч/м² в год.

В начале санирование было полностью заменено сантехническое и электротехническое оборудование. Далее последовал переход на централизованное ГВС, демонтаж устаревших газовых колонок в квартирах, прокладка новых труб и проводки.

Основным моментом демонстрационного проекта стало первое в Германии использование светопроницаемой теплоизоляции в жилых зданиях панельного типа. Светопроницаемый изолирующий материал имеет специальную структуру, приводящую к высокому уровню отражения теплового излучения внутрь помещения с минимальными теплотерями наружу. Проект заключался в проведении следующих мероприятий:

Утепление фасада 14-см слоем изоляции и 20-см слоем – в торцах здания

Утепление чердачных перекрытий 20-см слоем изоляции, а подвальных перекрытий – 10-см слоем изоляции

Установка окон с коэффициентом теплопередачи от 0,6 Вт/м²К до 1,1 Вт/м²К

Был сохранен принцип естественной вентиляции, для чего были использованы оконные рамы с щелями для пропуски наружного воздуха.

Установка 90 м² светопроницаемой теплоизоляции системы STO и Capatect на южном фасаде двух зданий.

Установка 40 м² солнечных коллекторов на вакуумных трубках типа Paradigma CPC 14 для поддержки отопления и ГВС.

Установка 44 м² плоских коллекторов типа Buderus SKS 2.1 для подогрева воды в системе ГВС.

Потребление внешней энергии было снижено с 250 кВт до 100 кВт

Отопительная система в здании 1 была дополнена системой учета потребления и расчетов по расходу фирмы Dr. Riedel Automatisierungstechnik

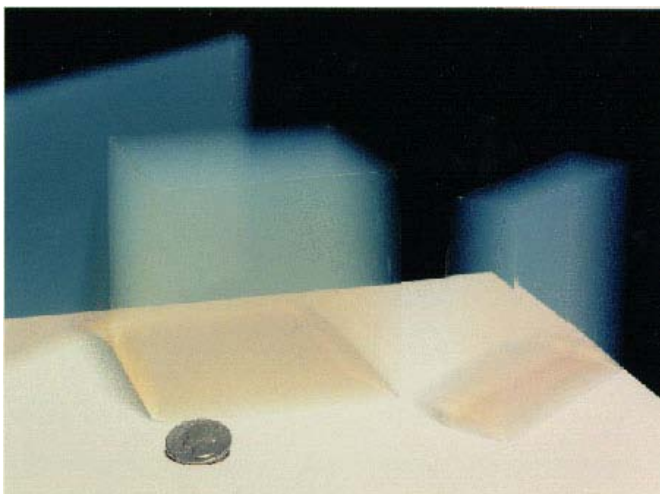
Двухлетние измерения показали, что потребление тепловой энергии снизилось от 56% до 63%. Экономия энергии при установке светопроницаемой теплоизоляции достигала 139 кВтч/м² в год по сравнению с неутепленной стеной того же здания и 65 кВтч/м² в год – по сравнению со стеной, утепленной 14-см слоем светонепроницаемой изоляции. В ряде случаев на внешних стенах регистрировалась более высокая температура внутренней поверхности, чем температура в помещении. Таким образом, эти стены зимой могут рассматриваться как источники теплового излучения. Применение светопроницаемой изоляции в будущих строительных проектах становится тем более привлекательным, чем ниже падает ее стоимость (сейчас он составляет всего лишь 300 евро/м²). При этом не учитываются средства, сэкономленные на санировании фасада. Особый интерес вызывает то обстоятельство, что выигрыш в солнечной энергии, предоставляемый светопроницаемой изоляцией, получен без затрат дополнительной энергии (насосы, сервоприводы и т.д.) и без каких-либо эксплуатационных расходов.

Солнечные коллекторы поставляют от 320 кВтч/м² в год (плоские коллекторы) до 415 кВтч/м² в год (коллекторы вакуумных трубок). В здании 3 на солнечную энергию приходилось 37% энергопотребности ГВС. В здании 1 на солнечную энергию приходилось 22% энергопотребности ГВС и 6% потребности теплоснабжения.

Значительное снижение энергопотребления и, следовательно, более низкие эксплуатационные расходы, обеспечивают квартирам повышенную ликвидность на рынке съемных квартир. Эксплуатационные расходы, включая отопление и ГВС, лежат в пределах 0,45 евро/м² в месяц, что составляет половину от того же значения до модернизации.

В целом можно утверждать, что привлекательность зданий значительно выросла вследствие реализации демонстрационного проекта. Налицо значительное снижение потребления тепловой энергии наряду с повышением уровня комфорта. Экономия выбросов CO₂ составляет 183.255 кг в год.

III.1.2 Аэрогель



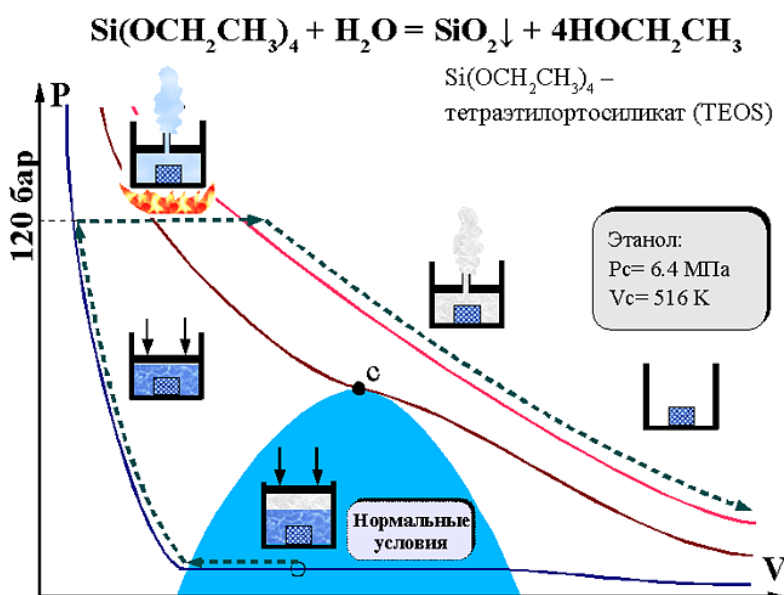
Название «аэрогель» произошло от двух латинских слов aer — воздух и gelatus — замороженный. Поэтому аэрогель часто называют «замороженным дымом». Впрочем, по внешнему виду аэрогель действительно напоминает застывший дым.

Аэрогель впервые был получен в 1920-1922 гг. в Стенфордском университете С.С.Кистлером из диоксида кремния

Аэрогель представляет собой необычный гель, в котором отсутствует жидкая фаза, полностью замещенная газообразной, вследствие чего вещество обладает рекордно низкой плотностью, всего в полтора раза превосходящей плотность воздуха, и рядом других уникальных качеств: твердостью, прозрачностью, жаропрочностью и т.д. Аэрогель на 99.8% состоит из воздуха.

Материал был удостоен за свои уникальные качества 15 позициями в книге рекордов Гиннеса.

Получение аэрогеля

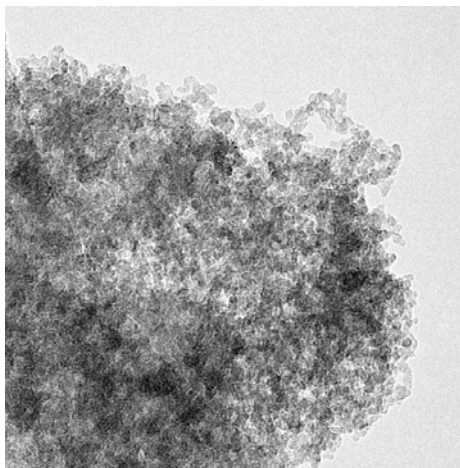


Процесс получения аэрогеля начинается с собственно геля - взвеси слипшихся частиц в жидкости.

Получается она в результате показанной на рисунке химической реакции тетраэтилортогосиликата (TEOS) в воде при щелочном или кислотном катализе. Воду из полученного геля вымывают этанолом. Далее возникает проблема: как удалить жидкость, не повреждая структуры. Ведь если позволить гелю просто высохнуть, то мениски поверхности испаряющейся воды будут двигаться по гелю и за счет капиллярных сил разрушат всю структуру. Капиллярные силы крайне сильны на столь малых размерах.

Решение заключается в том, чтобы не удалять из геля воду, а превратить ее в пар прямо на месте. Пар уже не имеет поверхностного натяжения и не сможет повредить структуру. Поэтому гель нагревают в прочном автоклаве до сверхкритических температур и давлений и выпускают превратившийся в пар этанол.

Структура



Уникальные свойства аэрогеля объясняются его не менее уникальной внутренней структурой. Аэрогель представляет собой тримерный кластер с размером элементов около 4 нм и характерным размером поры 10 нм. Таким образом, макроскопически аэрогель представляется сплошным однородным веществом, что выгодно отличает его от таких пористых сред как различные пены

Поскольку размер неоднородностей в аэрогеле много меньше длины волны видимого света, аэрогель прозрачен. Характерный голубоватый оттенок ему придает рэлеевское рассеяние света, которое, как известно, обратно пропорционально четвертой степени длины волны и поэтому гораздо сильнее для голубого диапазона чем для красного. Этим же рассеянием собственно и объясняется цвет неба.

Оксид кремния (кварц, стекло) - один из самых прочных материалов, известных человечеству. Тут с ним могут поспорить разве что сапфир и алмаз. Поэтому несмотря на крайне разреженную структуру, аэрогель достаточно механически прочен. Аэрогель - пожалуй, самый лучший из теплоизоляторов. Крайне "запутанная" структура задерживает тепло лучше любых пен или стекловаты.

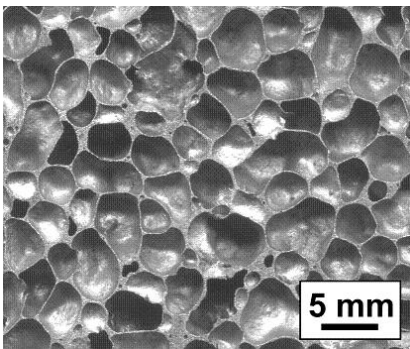
Применение

В основном аэрогель использовался в космической промышленности, в том числе и для теплоизоляции. Но в традиционной промышленности и в быту применения он не находил в виду его высокой хрупкости.

Компания «Aspen aerogels разработала ряд материалов на основе аэрогеля, при помощи которых можно теплоизолировать теплотрассы и различное тепловое оборудование, а также дома. Специально для каркасного строительства предлагается материал Spaceloft. Он представляет из себя «сплав» стеклоткани и аэрогеля толщиной 5 и 10 мм, с рекордными показателями теплопроводности 0,015 Вт/мК. Не трудно рассчитать, что 10 мм такой теплоизоляции заменит 42 мм стандартной минеральной ваты.



III.1.3 Пенометалл



Алюминиевый пенометалл с крупными ячейками



Латунный пенометалл



Мелкоячеистый стальной пенометалл

Пенометалл — металл (сплав) ячеистой структуры, новый класс материалов. Наиболее распространены пенометаллы на основе сплавов алюминия и магния.

Свойства:

- низкая плотность (до 50 кг/м^3 для сплава AZ91)
- высокая удельная жесткость

-высокое шумопоглощение

-низкая теплопроводность

Производство:

Пенометаллы производятся из расплавленных металлов путем впрыска газов (воздуха, инертных газов), либо путём стимулирования местного образования газов введением газовыделяющего реактива (TiH_2).

Существует технология получения пенометаллов из смеси порошкообразных сплавов и газовыделяющего реактива.

III.1.4 Вакуумная изоляция



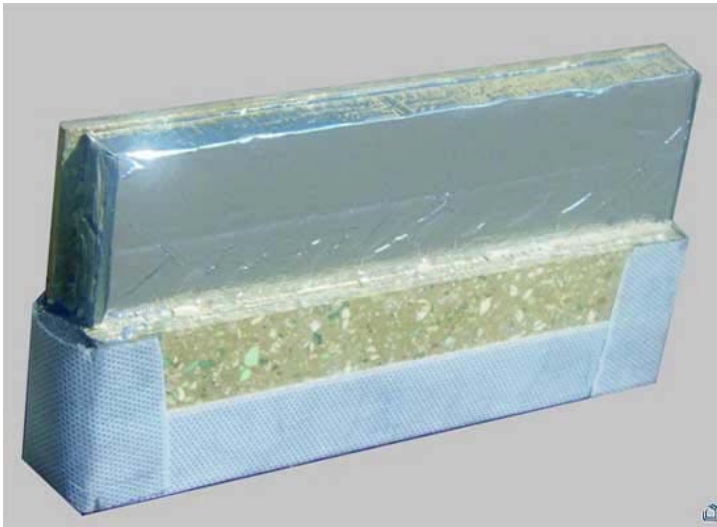
Вакуумная изоляция впервые была создана для целей космического строения. На сегодня это самая эффективная, но самая дорогая и сложная изоляция. Представляет из себя прямоугольные панели стандартного размера, обтянутые фольгой и имеющие внутри себя вакуумное пространство.

Преимущества:

Благодаря отсутствию молекул внутри панели, передать тепло/холод от одной стенки к другой, некому. Соответственно, практически 100% эффективность.

Недостатки:

- высокая цена;
- невозможность менять размер;
- сложность в изоляции стыков панелей;
- хрупкость – после повреждения вся панель приходит в негодность;
- невозможность использования в сложных местах.



Строительные элементы сэндвичпанелей позволяют использовать различные комбинации материалов, и имеют различные варианты применения в строительной промышленности. В этой научно-исследовательской работе были созданы сэндвичпанели с интегрированной вакуумной теплоизоляцией. Они проверялись с научной точки зрения и оценивались на практике на демонстрационном здании в Германии. Постройка с готовыми модулями фасада и элементами сэндвичпанелей это единственный путь безопасного монтажа чувствительных пластин вакуумной изоляции в здании. Изготовитель может обеспечить готовые элементы в форматах $д \times 10 м^2$, это позволяет создавать тонкие фасады с превосходными теплоизоляционными свойствами, подходящими для пассивных зданий.

Описание проекта.

Вакуум дает очень хорошую тепловую изоляцию. Микропористые кремниевые пластины диоксида упакованы в газонепроницаемую вакуумную пленку. Эти панели с вакуумной теплоизоляцией обладают чрезвычайно низкой теплопроводностью. Их изоляционный эффект от 5 до 10 раз выше, чем у обычных систем теплоизоляции. Таким образом, такая вакуумная изоляция требует соответственно меньшей толщины изоляционного материала для достижения того же изоляционного эффекта. Данная технология будет иметь большое преимущество по сравнению с другими там где существуют высокие требования на тепловую изоляцию.

Тем не менее, у вакуумной изоляции есть один недостаток, из-за которого не возможно использование на строительной площадке как отдельную панель этим недостатком может являться даже маленькая царапина, которая позволяет воздуху проникать в пластины, тем самым резко уменьшая их теплоизоляционные свойства. Риска разгерметизации можно избежать, если использовать данные панели в заводских условиях для производства фасадных элементов, или сэндвичпанелей.

Сэндвич конструкции надежны и универсальны для применения в строительстве зданий. Крыши, стены, фасады, окна и двери могут быть сделаны из сэндвич-элементов с вакуумной теплоизоляцией, больших и малых форматов. В рамках этого проекта вакуумная изоляция в настоящее время можно применять с различными комбинациями материалов / дерево, дерево / бетон, бетон / монолитный бетон/ бетон.

Строительный принцип, обычный как и для всех сэндвичпанелей, основой является стекловолнока, которые, под напряженностью и давлением, присоединяется слоями в определенных точках, без существенного возникновения тепловых мостов.

Наибольшие форматы, которые могут быть произведены, составляют 1,25 м х 3 м, с толщиной от 10 до 50 мм. Чтобы собрать большую стенную поверхность, необходимо поместить несколько панелей друг около друга и соединить в якорных точках, созданных на этапе изготовления. Строительные элементы, которые таким образом произведены, могут быть сделаны во всех формах и размерах, в зависимости от архитектуры.

Коэффициент теплоотдачи U (U характеризует потери энергии, происходящие с 1 м² при разнице температур внутри и снаружи 1°, чем ниже величина U , тем лучше теплосбережение) у панелей толщиной 20 мм равен 0.189 W/м²К, для панелей 40 мм теплоотдача 0,06 W/м²К.

Пригодность для строительной площадки: у больших поверхностных элементов сэндвичпанели есть двойная защита. Панель вложена в защитные слои (твердые группы алюминия) и имеют непроницаемое обрамление.

Демонстрационное здание:

Жилое здание с офисами, площадью 350 м². Оно было построено в 2004, и теперь может продемонстрировать возможности вакуумной изоляции. Здание, расположено на проблематичном наклоне, что влечет за собой строгие требования для используемых элементов фасада, относительно статических свойств и защиты от влажности. Полная толщина фасада составляет 15 — 33 см, в зависимости от типа фасада. На этом здании смогли достичь коэффициента теплоотдачи в 0.11 W/м²К. Теплоизолирующие элементы в основном использовались в местах, которые находятся в контакте с основанием или близким к нему. На верхнем ярусе доминируют деревянные строительные элементы.

С проектом этого здания были разработаны более чем 50 деталей. Кроме того, каждый строительный элемент может быть изготовлен в виде модуля. В здании, которое включает подвал, первый и верхний ярус, были осуществлены в общей сложности пять различных строительных систем для крыши и стены. В зависимости от цели выполнения они были созданы или как деревянные или как панели с интегрированными вакуумными элементами изоляции.

Около одной трети всего энергопотребления в Германии используется для обогрева комнат. В частности старые здания больше всего выиграют от эффективного для энергии обновления. Вакуумная изоляция, например, вакуумные изоляционные панели (VIP) и вакуумные изоляционные стеклопакеты (VIG) — чрезвычайно эффективные системы для обновления строительной сферы.

Вакуумные изоляционные панели (VIP) для зданий

При производстве вакуумные изоляционные панели имеют теплопроводность около 0.004 W/(mK). Их коэффициент изоляции в пятьдесят раз выше по сравнению с традиционным изоляционным материалом той же толщины. Типичный базовый материал — микропористый, стойкий к давлению и имеет низкую теплопроводность, когда придается вакууму (например, пирогенный кварц (кремнезем)). Металлическая фольга или стальная оболочка обеспечивают очень медленное увеличение давления и теплопроводности.

Срок службы

Несмотря на металлическую оболочку, проникающие молекулы медленно увеличивают давление газа в VIP. Кроме сухих атмосферных газов (таких как O₂ и N₂) водный пар является особенно критическим компонентом, так как он значительно увеличивает теплопроводность панели. В ZAE «Bayern» была разработана теоретическая модель вероятного срока службы для VIP. Модель была проверена посредством длительных

измерений на панелях с различными видами оболочки металлической фольги (расследования проходили около года). Результаты показывают, что VIP со сроком службы более 50 лет вполне возможны, даже если используется фольга с тонкими металлическими слоями. Согласно вычислениям, теплопроводность увеличится до 0.006 W/(mK) в течение этого периода.

Тепловые мосты

Вышеупомянутые значения для теплопроводности действительны только в ситуации, когда центральная область VIP не затронута. Из-за высокой теплопроводности металлических слоев по краям покрытие являет собой тепловой мост. Это может приводить к сильному увеличению общего коэффициента теплопроводности панели, в частности для малоразмерных панелей с толстыми металлическими слоями или с полностью стальным покрытием (смотрите Рис. 1).

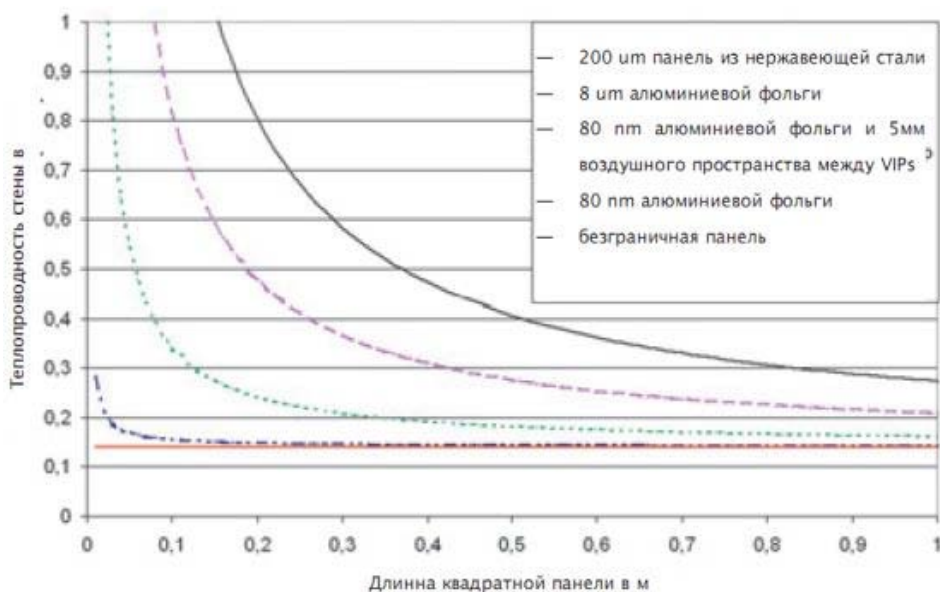


Рис. 1. Рассчитанный коэффициент теплопроводности стеновой конструкции с VIP (силикатный кирпич 17.5 см, VIP 3 см + 3 см PS) как функция размера панели для различных видов панельного покрытия

Не только тепловые мосты, вызванные оболочкой панели, но и те, которые вызваны методом установки (подгонка, сооружение) играют важную роль. Чрезвычайно эффективные свойства изоляции VIP делают эффекты теплового моста еще худшими. Во время этапа планировки строго рекомендуется проводить детальное вычисление эффектов тепловых мостов.

Использование

Благодаря уменьшенной толщине изоляции (от 1/5 до 1/10) VIP имеют большие преимущества в ситуации, если свободное место ограничено (граничит с примыкающей недвижимостью, маленьким выступом крыши, в домах с террасами), или в ситуации, когда пространство очень дорогое. В придачу к экономии пространства избегается появление непривлекательных глубоких амбразур, что дает больше свободы действий для архитекторов. Системы VIP также могут использоваться под подогревом пола, на полу и на потолках, элементах парапета или в жалюзийных шторных системах.

Специальные возможности

Все конструкции VIP должны придерживаться следующих основных принципов:

- оболочка не должна вредить (без уколов, аккуратное использование);
- нет возможности разрезания панели (разверните решетку во время стадии планировки);
- механическая монтажная система не должна вызывать давление в панели;
- тепловым мостам должно уделяться больше внимания, чем при традиционной изоляции;
- стыки и щели должны быть непроницаемыми для водного пара.

Вакуумные изоляционные стеклопакеты (VIG)

В традиционном двухслойном остеклении с мягким покрытием общая потеря тепла в большой степени зависит от теплопроводности через газовый наполнитель (около 80% для воздуха как газового наполнителя). Этот показатель можно существенно уменьшить путем создания вакуума в пространстве между остеклением. Кроме того, брешь (пространство) с вакуумом может быть уменьшена в толщине, так как его теплоизоляционный эффект сильно зависит от расстояния между стеклами.

Таким образом, могут быть реализованы системы с тонким. Однако уплотнители должны быть расположены с обычными промежутками между стеклами, чтобы избежать повреждения стеклопакета через атмосферное давление в 1,000 гПа, что соответствует весу 10 тонн на квадратный метр. Также необходима герметическая краевая прокладка, чтобы гарантировать длительное давление газа в 104 гПа.

Свойства

Оптимизируя все системные параметры, VIG сочетает в себе превосходные коэффициенты изоляции, очень тонкое остекление и малый вес. При использовании чрезвычайно эффективных мягких покрытий с излучательной способностью менее чем 0.03 и с использованием оптимизированных теплопрокладок можно достичь общего коэффициента теплопроводности в $0.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

III.1. 5 Материал с изменяющимся фазовым состоянием Micronal PCM



Материалы с изменяющимся фазовым состоянием могут поглощать избыточное летнее тепло и обеспечивать таким образом комфортную температуру в помещениях. Это означает, что затраты на кондиционирование воздуха могут быть значительно снижены, а

при правильном планировании – и вовсе исключены. Компания H+N Celcon, которая производит изделия из газобетона, впервые включила Micronal PCM – материал с изменяющимся фазовым состоянием от BASF – в состав блоков из вспененного цемента. Это значительно повысило теплоаккумулирующую способность блоков CelBloc Plus, производимых этой компанией. Благодаря пористой структуре, строительные материалы из газобетона обладают прекрасными термоизоляционными, звукоизоляционными и жароупорными свойствами.

Добавка материала с изменяющимся фазовым состоянием Micronal PCM повышает теплоаккумулирующую способность вспененного бетона, а, следовательно, и построенных из него зданий. В результате в зданиях, построенных на принципах современных легких конструкций, климат внутри значительно лучше и здоровее.

Принцип действия

Micronal PCM компании BASF представляет собой скрытый микроинкапсулированный накопитель тепла, который действует по следующему принципу: микроскопически малые полимерные капсулы, внутри которых находится вещество, содержащее чистый воск, так называемые материалы с изменяющимся фазовым состоянием, вводятся в сухую гипсовую штукатурку во время ее изготовления. Если температура в помещении превышает температуру перехода 26°C, заданную при изготовлении, воск внутри капсул плавится и поглощает излишки тепла.

С другой стороны, если температура снижается, воск затвердевает, и капсулы отдают тепло обратно. Разница между дневной и ночной температурой обеспечивает попеременную последовательность плавления и отвердения. Таким образом, Micronal PCM помогает поглощать дневную пиковую температуру.

Характеристики:

- Зимой теплоизоляция снижает утечки тепла через стены
- Летом большая часть тепловой энергии проникает в дом через окна
- Эффективный контроль температуры через:
 - Сохранение тепла
 - Создание тени
 - Вентилирование ночью
 - Теплоизоляцию

Преимущества:

- Воск в качестве РСМ: температура фазового перехода **23-26С**.
- Высокая чистота исходного материала гарантирует высокую энтальпию и постоянную температуру плавления
- Защитная полимерная оболочка предотвращает просачивание: воск всегда остается в микрокапсуле – никакой эмиссии!
- Прочный материал капсулы выдерживает изменение объема при смене фазового состояния.
- Благодаря микроскопическому размеру, капсулы невозможно повредить при механической обработке материала.

III.2 Светопрускающие конструкции

В обеспечение энергоэффективности здания большую роль играют светопрускающие ограждающие конструкции. С одной стороны, они необходимы для естественного освещения и комфортного пребывания человека в помещении. С другой стороны

В этом отношении важны три технических показателя светопропускающих конструкций:

-Теплопропускание

-Светопропускание

-Инфильтрация

Светопропускание. Светопропускание - это количество солнечной энергии, проходящей через стекло, а также количество отражаемой солнечной энергии. Когда солнечная энергия проходит через стекло, она поглощается различными предметами внутри здания как тепло. Затем эти предметы излучают полученную энергию в виде инфракрасного излучения, нагревая воздух вокруг себя. Поскольку воздух находится в замкнутом пространстве здания, он будет все время нагреваться, если не предпринять что-либо (например, установить кондиционеры или открыть окна). Кроме того, стекло само поглощает некоторое количество инфракрасных лучей и излучает часть энергии внутри здания. Именно этот процесс используют в теплицах, а в обычном здании как минимум 30% всей нагрузки на систему кондиционирования напрямую зависит от теплопоступлений от солнечной радиации.

Следовательно, для повышения энергоэффективности здания необходимо уменьшить объем наружного остекления. Но существуют и другие способы снижения влияния остекления на энергоэффективность здания. На сегодня существует множество различных специальных типов обработки стекла, разнообразные покрытия, затеняющие элементы, герметичные прокладки, располагающиеся между слоями стеклопакета.

Теплопропускание. Характеристика теплопропускания наружного остекления здания почти не сказывается на мощности системы кондиционирования, но ее влияние на отопительную нагрузку весьма велико, особенно в холодных климатических зонах. Характеристика теплопропускания выражается в коэффициенте теплопередачи ($Вт/м^2К$). Коэффициент теплопередачи (U-value) представляет собой количество тепла в ваттах (Вт), которое проходит через 1 кв. м поверхности материала на разницу в градусах между внутренней и внешней температурами. Чем ниже коэффициент теплопередачи, тем лучше теплоизоляционные качества материала. Но высокоэффективные системы остекления имеют и свои недостатки, главный из которых - их стоимость. Усовершенствование конструкции остекления также приводит к значительному увеличению срока окупаемости. Для каждого здания важно найти золотую середину между характеристиками теплопропускания и затратами на них. Здесь необходимо учитывать требуемый уровень энергоэффективности объекта, бюджет, предусмотренный на основные системы здания, и стоимость потребляемой энергии.

Инфильтрация - это показатель, отображающий количество воздуха, проникающего в закрытое здание с улицы. Этот воздух затем нужно либо нагревать, либо охлаждать (в зависимости от времени года) до требуемой температуры. Поэтому улучшение герметичности здания напрямую влияет на количество потребляемой зданием энергии. Снижение инфильтрации при эксплуатации здания может быть достигнуто, например, путем установки тамбуров на входах. Для уменьшения потребления зданием энергии необходимо также выбирать системы остекления достаточно высокого качества.

III.2.1 Пленки из термопластичных фторполимеров

Фторполимеры известны своими замечательными свойствами, которые полностью реализуются в пленочных материалах: широкий интервал эксплуатации—от минус 200 до

плюс 250оС, отличная химстойкость, высокие диэлектрические характеристики, антиадгезионные и антифрикционные свойства, атмосферостойкость и негорючесть. Экструзионные фторполимерные пленки прозрачны, коэффициент светопропускания в видимой части спектра до 90-97%. Пленки выпускаются на специализированных экструзионных агрегатах практически из всех видов термопластичных фторполимеров (ТПФП) (табл.1).

Таблица 1

Марки и основные свойства экструзионных пленок из ТПФП.

Марка/зарубежный аналог	Ф-2М	Ф-40	Ф-4МБ	Ф-10	Ф-50	Ф-3М
Свойства	PVDF	ETFE	FEP	аналог отсутствует	PFA	PCTFE
Толщина, мкм	30÷500	80÷400	50÷500	25÷300	25÷100	40÷400
Ширина, мм	150÷400	90÷400	150÷500	250÷500	250÷280	250÷420
Прочность при разрыве, кгс/см ²	300÷400	200÷300	170÷300	250÷320	200÷250	200÷300
Относительное удлинение при разрыве, %	200÷350	100÷300	250÷400	150÷220	250÷300	100÷200
Интервал рабочих температур, оС	-40÷+130	-70÷+200	-196÷+200	-100÷+150	-196÷250	-196÷+150

*Данные приведены для пленки толщиной 100 мкм

Присущая пленкам особенность-малая масса при большой поверхности-определяет высокую эффективность их применения в различных областях. Пленки могут свариваться, позволяя создавать всевозможные емкости, мешки и другие изделия различной конфигурации.

Минимальный расход сырья на единицу продукции, широкий ассортимент, позволяющий выбрать пленку с необходимым комплексом свойств, определяют особое положение экструзионных пленок среди изделий из ТПФП.

Из общего объема производимых мировой промышленностью ТПФП около 10% перерабатывается в пленки (рис.1). Основными изготовителями экструзионных пленок являются ведущие фирмы по производству фторполимеров: Du Pont (США) – Teflon FEP Film, Teflon PFA Film, Tefzel ETFE Film, Tedlar; Daikin (Япония) – Neoflon NF, Neoflon AF, Neoflon ETFE Film; Asahi Glass (Япония) – Fluon ETFE Film, F-Clean. Фирмы, специализирующиеся на выпуске пленок из покупного ТПФП: Nowofol Kunststoffprodukte GmbH (Германия) – Nowoflon FEP, PFA, THV, PVDF; Saint Gobain Performance Plastics (США) – Norton FEP, PFA, ETFE, ECTFE, PVDF.

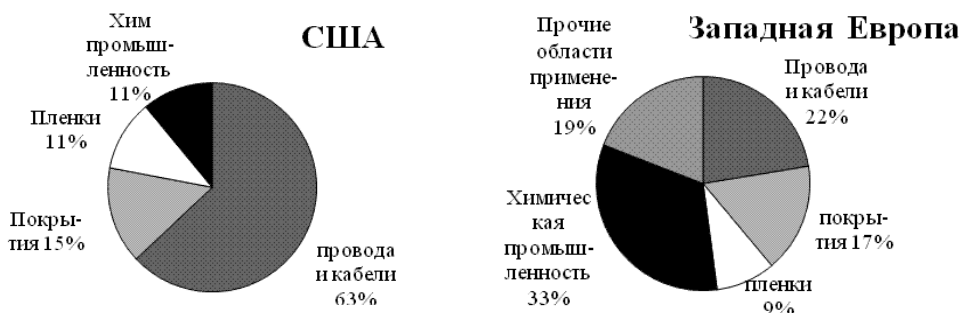


Рис.1 Потребление ТПФП в США и Западной Европе.

Ассортимент пленок из ТПФП, выпускаемых в мире чрезвычайно широк: свободные пленки толщиной от 6 до 500 мкм, шириной от 10 до 1250 мм, наполненные, металлизированные, комбинированные, с клеящим покрытием. Стоимость пленок примерно в 2-5 раз превышает стоимость исходного материала, например, стоимость пленок из FEP составляет 66-88 долларов/кг, при средней стоимости исходного полимера 25-30 долларов/кг.

Прогнозируется ежегодный прирост потребления фторполимерных пленок вплоть до 2010 г. на 3,5 %. Наибольший спрос в настоящее время отмечается на пленки из PVF, который увеличивается ежегодно на 30 %.

Отходы пленок из ТПФП могут подвергаться многократной переработке без изменения основных свойств. Это позволяет организовать практически безотходное производство с дополнительным выпуском пленки неответственного назначения.

ETFE (Ethylene tetrafluoroethylene)

ETFE (Ethylene tetrafluoroethylene) — это аналог полимера тетрафторэтилена (PTFE, polytetrafluoroethylene), точнее говоря, его сополимер с этиленом. Оба они относятся к группе соединений с общим названием фторопласты.

ETFE называют синтетической фольгой, хотя на самом деле это разновидность пластмассы.

Свойства и сферы применения:

-Плѐнку ETFE используют вместо архитектурного стекла, потому что она вдвое дешевле и намного легче.

-Она имеет прекрасные термоизоляционные свойства и пропускает гораздо больше ультрафиолета, чем обычное стекло, что особенно важно при создании оранжерей или зимних садов.

-Плѐнка обладает повышенной эластичностью и устойчивостью к сильным температурным перепадам.

-ETFE плёнка представляет собой самоочищающийся материал; его очень удобно применять при создании стеклянных крыш и атриумов.

-Материал не стоит применять в тех местах, где существует опасность его повреждения острыми предметами.

Фторопласты обладают низкой смачиваемостью, трением, адгезией (то есть слипанием с поверхностью различных по свойствам веществ), не горючи, эластичны, оптически прозрачны.

Срок эксплуатации материала – 25 лет; его можно применять повторно.

PTFE известен под коммерческим названием тефлон. Его опасность в том, что при температурах свыше 200 градусов по Цельсию он выделяет опасные для здоровья человека продукты горения.

Е-TFE по сравнению с P-TFE более термически устойчив и химически инертен. В результате, ETFE пришёл на смену традиционным тефлоновым покрытиям, в том числе и при изготовлении стеклянных конструкций.

Практика:

Существует несколько наиболее известных торговых марок плёнок ETFE, например: Tefzel производства компании DuPont, Fluon от Asahi Glass Company, Neoflon ETFE от Daikin и Texlon от компании Vector Foiltec.

Плёнка ETFE положительно зарекомендовала себя в ряде знаковых проектов.

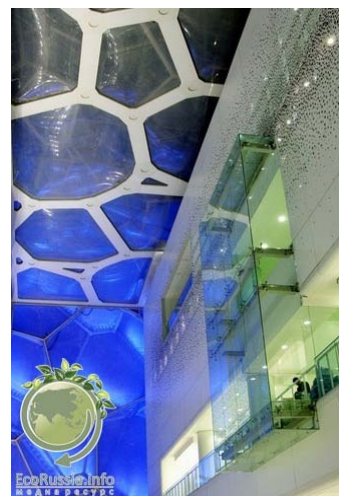


Оранжереи проекта Эдем (The Eden Project) созданы из ETFE плёнки. Комплекс Эдем спроектирован архитектором Николасом Гримшоу (Nicholas Grimshaw&Partners) в 2001г.; в нём удачно сочетаются наука, технология, образование и современное искусство. Идея проекта Эдем – показать взаимосвязь всего живого и зависимость человека от растений. Основные составляющие Эдема — два биома с искусственным климатом (в экологии термин биом означает крупное региональное или субконтинентальное подразделение биосферы). В одном воссоздан климат влажных тропиков (это самая большая оранжерея), в другом — субтропический климат Средиземноморья, Южной Африки и Калифорнии.

Плёнка ETFE применялась при реконструкции университетского городка Брэдфорд в Йорк-Шире, а именно при создании одного из атриумов. Этот вуз считается престижным образовательным учреждением (согласно исследованию газеты Times, Брэдфорд входит в число 48-ми лучших вузов Великобритании), он целенаправленно пропагандирует бережное отношение к окружающей среде.



Плѐнка ETFE была также применена при строительстве одного из новейших европейских стадионов Альянс Арена в Мюнхене (Германия), Национального водного стадиона в Пекине (Китай), где проводились спортивные состязания в рамках Олимпийских игр 2008, в крытом комплексе «Тропические острова» (Германия), где в искусственных условиях воссозданы климат и природные красоты тропиков и в здании Британского Национального космического центра.



Национальный водный стадион в Пекине, где проводились спортивные состязания в рамках Олимпийских игр-2008, построен с применением пленок ETFE

Эти плёнки будут использоваться при создании гигантского аквариума в центре Лондона (Великобритания), который сейчас находится на стадии проектирования.

III.2.2 Материалы с изменяющейся прозрачностью

Для защиты помещений от яркого солнечного света и от перегрева можно использовать материалы с изменяющейся светопрозрачностью. Такие материалы изменяют свои свойства под воздействием света (фотохромные), тепла (термохромные) или электрического поля (электрохромные).

Одним из новейших материалов этого рода является гель TALD, разработанный в институте строительной физики в Штутгарте. TALD является термохромным материалом и основан на органических метериалах.

Тонкий слой (0,3мм) TALD размещается между двумя стеклами. В зависимости от температуры нагрева стекла под воздействием солнечных лучей материал переходит из прозрачного состояния в непрозрачное: чем выше температура, тем больше в материале выстраивается молекулярных цепочек, размер которых больше длины световой волны и которые не пропускают свет. При уменьшении температуры материал возвращается снова в прозрачное состояние. В прозрачном состоянии TALD пропускает 80% солнечной радиации, в непрозрачном эта величина снижается до 10-40%.

При использовании таких материалов отпадает необходимость использования в зданиях затемняющих устройств. Большое преимущество имеют материалы с изменяющейся прозрачностью по сравнению с тонированными солнцезащитными стеклами, которые значительно уменьшают светопропускание и не обладают способностью к саморегуляции.

III.2.3 Светоуправляющие оптические элементы

Окна неравномерно распределяют свет в помещениях. Чем дальше от окна находится рабочее место, тем меньше света оно получает. При пасмурной погоде в глубине комнат недостаточно света, а при солнце возникает слепящая игра света и тени.

Решением этой проблемы занялись ученые из Института Света и Строительной техники (ILB) в Кельне.

Они разработали систему, которая способна успешно решить проблему. Неравномерность освещения в значительной мере может быть устранена с помощью светоуправляющих оптических элементов. Они представляют собой определенным образом изогнутые тонкие полоски из акрилового или гидрокарбонатного стекла, которые располагаются внутри стеклопакетов в верхней части окна. Эти элементы перенаправляют рассеянный и солнечный свет из зенита в глубину помещения и на потолок. В подвесном потолке монтируются отражательные элементы, которые имеют специальную рассеивающую структуру из микро-пирамидок. Ослепления солнечным светом при этой системе никогда не наступает, так как отражение лучей отводит их от уровня глаз и рассеивает благодаря отражающим устройствам на на потолке.

Верхняя светоуправляющая часть окна никогда не затемняется солнцезащитными устройствами, в то время как нижние части окон оборудуются затемнением, которым, при необходимости, можно воспользоваться.

Уже осуществленные на практике дома со светоуправляющими голограммами в Кельне показали полную правильность теоретических выкладок исследователей. Качество и продолжительность естественного освещения стали значительно лучше, помещения глубиной более 7м не требовали искусственного освещения. Ощущение комфорта и работоспособность сотрудников офиса ощутимо улучшились. Замеренный в условиях Германии расход электроэнергии на освещение уменьшился по сравнению с обычными окнами на 80%!

В настоящее время ученые ведут разработку интегрированных систем естественного и искусственного освещения, когда светоуправляющие голограммы будут автоматически дополняться искусственным светом при уменьшении естественной освещенности в помещениях.

Все чаще и чаще в Европе, когда речь идет о современных строительных технологиях, используется новый термин: интеллигентные строительные системы. Под этими словами ученые и инженеры понимают энергоэффективные, саморегулирующиеся, автоматические системы.

III.2.4 Теплоотражающие стекла

Конструкция стеклопакета в его первоначальном виде – два простых оконных стекла с осушенным воздухом между ними – в настоящее время не соответствует европейским нормативам по теплоизоляции и является вчерашним днем. В России в ряде регионов тоже приняты уже более жесткие нормативы, практически соответствующие европейским, общероссийские находятся в стадии согласования и утверждения Гостроем.

В современном европейском строительстве применяются для стеклопакетов стекла с теплоотражающими покрытиями.

Физические основы процесса сбережения тепла в эффективных стеклопакетах таковы.

Тепловой поток через стеклопакеты состоит из трех частей:

1. Лучистый теплообмен между стеклами (инфракрасное излучение);
2. Теплопроводность газа между стеклами (теплопередача);
3. Конвекция газа между стеклами (движение и перемешивание газа).

На лучистую составляющую теплового потока приходится 2/3 переносимого тепла, и только 1/3 – на два других фактора! Этой особенностью и воспользовались ученые. С помощью нанесения на стекла тончайших металлических покрытий они научились направлять лучистую составляющую теплового потока обратно, внутрь помещения.

Металлическое напыление обладает свойствами светового фильтра, поэтому его называют «селективным», то есть «избирательным»: оно пропускает коротковолновое излучение, особенно хорошо в видимой области, в то время как для длинных волн – инфракрасного спектра – оно работает как тепловое зеркало, отражая большую часть излучения. На практике это означает, что оставаясь прозрачным для человека и хорошо пропуская солнечный свет в помещение, теплоотражающее покрытие направляет обратно в помещение излучаемую тепловую энергию.

Поверхность стекла с селективным покрытием должна быть в стеклопакете третьей по счету со стороны улицы – только при таком расположении оно имеет реальный смысл. Теплоотражающее покрытие имеет малую прочность на истирание, но стекло, установленное покрытием внутрь пакета, не надо подвергать очистке, так как благодаря

герметичности стеклопакета стекло не загрязняется со стороны межстекольного пространства.

Потеря прозрачности (светопропускания) стеклопакета с теплоотражающим стеклом по сравнению с обычным составляют всего 5-7%, в то время как при использовании двухкамерных стеклопакетов (с тремя стеклами) их прозрачность уменьшается на 21,5%!

Однако только лишь селективное покрытие теплотехнические качества стеклопакета улучшает незначительно, так как возрастает разница температур между внутренним и наружным стеклом, что увеличивает конвекцию воздуха внутри стеклопакета, и, соответственно, потери тепла. Но если стеклопакет с теплоотражающим стеклом наполнен инертным газом, например, аргоном, то такой стеклопакет держит тепло уже лучше, чем стены в наших типовых панельных домах!

Теплоотражающие стекла получают в результате нанесения на поверхность стекла тонких пленок из металлов и оксидов металлов распылением, химическим осаждением, электрохимической обработкой или термическим разложением. В Европе, где стекла с селективным напылением стали стандартом, в промышленности выпускаются стекла с теплоотражающими покрытиями из золота, серебра, никеля, меди, алюминия, хрома, титана и их оксидов. Наилучшими теплоотражающими свойствами обладают стекла с покрытием из золота, но из-за их высокой стоимости они не получили широкого применения. Очень эффективно использование теплоотражающих стекол с окисно-металлическими покрытиями.

В России производство таких стекол начато в Москве и С.-Петербурге.