www.engstroy.spb.ru

Инженерно-строительный журнал

научно-прикладное издание

ISSN 2071-4726

№1(11) январь-февраль 2010

СОБЫТИЯ

РАСЧЕТЫ

МАТЕРИАЛЫ

АНАЛИЗ

СЕТИ

ТЕМА НОМЕРА: ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Курсы повышения квалификации

Приглашаются специалисты строительных и проектных организаций, в том числе непосредственно занятые в сфере строительного производства.
Курсы проводятся в течение 2-3 недель в вечернее время на базе факультета или на территории заказчика. По окончании слушателям выдается удостоверение о повышении квалификации государственного образца.
Курсы проводятся по следующим направлениям:

Наименование курса	Продолжительность	Стоимость
Выполнение функций заказчика-застройщика	*2 недели*	*10000*
Управление строительной организацией	*2 недели*	*15000*
Технология и контроль качества строительства	*3 недели*	*18000*
Разработка проектов организации строительства	*2 недели*	*11000*
Проектирование металлических конструкций	*2 недели*	*12000*
Календарно-сетевое планирование в строительстве	*2 недели*	*10000*
Проектирование и монтаж систем вентиляции	*2 недели*	*12000*
Проектирование и монтаж систем отопления	*2 недели*	*10000*
Электроснабжение и электрооборудование объектов	*2 недели*	*11000*
Обследование зданий и сооружений	*2 недели*	*12000*
Геодезические разбивочные работы в строительстве	*2 недели*	*15000*
Сметное дело в строительстве	*2 недели*	*18000*

Возможен подбор преподавателей и организация корпоративного курса по любой интересующей заказчика тематике в сфере строительства. Курсы проводятся как на базе факультета, так и на территории заказчика.
Университет также проводит корпоративный курс «Основы строительного дела», предназначенный для сотрудников строительных организаций, не занятых непосредственно в производстве (менеджеров, юристов, экономистов и т.п.).

Курсы профессиональной подготовки

Курсы предназначены для специалистов строительных и проектных организаций, желающих овладеть работой в программных продуктах для автоматизированного проектирования, расчета строительных конструкций, календарного и сетевого планирования.
Курсы проводятся в течение 1-2 недель в вечернее время на базе факультета. Возможна организация курса на территории заказчика в удобное ему время.

Наименование курса	Продолжительность	Стоимость
Проектирование зданий и сооружений с использованием AutoCAD	*8 дней*	*7000*
Проектирование строительных конструкций с использованием SCAD Office	*8 дней*	*12000*
Проектирование зданий и сооружений с использованием Allplan	*2 недели*	*7000*
Планирование и управление строительными проектами с использованием MS Project	*5 дней*	*7000*

Контакты

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, ауд. 301
552-94-60, 535-79-92
stroikursi@mail.ru
www.stroikursi.spb.ru

Http://www.engstroy.spb.ru – полнотекстовая версия журнала в сети Интернет. Бесплатный доступ, обновление с каждым новым выпуском.

Инженерно-строительный журнал
научно-прикладное издание

ISSN 2071-4726

Свидетельство о государственной регистрации: ПИ №ФС77-38070, выдано Роскомнадзором

Специализированный научный журнал

Периодичность: 8 раз в год

Учредитель и издатель:

ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»

Адрес редакции:

195251, СПб, ул. Политехническая, д. 29, Гидрокорпус-2, ауд. 204

Главный редактор:

Вера Михайловна Якубсон

Редакционный совет:

Д.э.н., проф. ГОУ СПбГПУ, вице-губернатор Санкт-Петербурга А.И. Вахмистров;
Академик РАН, д.т.н., проф., президент ГОУ СПбГПУ Ю.С. Васильев;
Член-корр. РАН, д.т.н., проф., проректор ГОУ СПбГПУ по научной и инновационной деятельности А.И. Рудской;
Д.э.н., проф., директор Санкт-Петербургского союза строительных компаний «Союзпетрострой» Л.М. Каплан;
Д.т.н., проф., декан ИСФ ГОУ СПбГПУ А.И. Альхименко;
Д.т.н., проф., зав. каф. ТОЭС ГОУ СПбГПУ Н.И. Ватин
И другие. Полный список редсовета и редколлегии – на веб-сайте журнала.

Установочный тираж 1000 экз.

Контакты:

Тел. 297-59-49

E-mail engstroy@inbox.ru

Http://www.engstroy.spb.ru

Содержание

ТЕМА НОМЕРА: ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

СОБЫТИЯ
Энергоэффективность и энергосбережение. Французский взгляд 2
Научная конференция в ГОУ СПбГАСУ 3
Политика Санкт-Петербурга в области энергосбережения и энергоэффективности 5
Защиты инженеров-строителей в ГОУ СПбГПУ 6

СЕТИ
П. Сормунен. Энергоэффективность зданий. Ситуация в Финляндии 7
А.С. Горшков. Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий 9

АНАЛИЗ
Л.Л. Гошка. Энергосбережение и эффективность климатических систем 14
И.А. Королев, Г.П. Петраков. Создание испытательного центра для проверки качества пенополиуретановой изоляции предизолированных трубопроводов, применяемых в системах теплоснабжения 23

МАТЕРИАЛЫ
И.А. Бердюгин. Теплоизоляционные материалы в строительстве. Каменная вата или стекловолокно: сравнительный анализ 26
Н.В. Ажикина. Стекломагнезит – новый облицовочный материал 32

РАСЧЕТЫ
И.И. Боголепов, Н.П. Столярова. Три метода определения необходимой звукоизоляции окон: плюсы и минусы 38
В.М. Жгутов. Нелинейные уравнения движения ребристых оболочек с учетом различных свойств материала. I 47

ОФИЦИАЛЬНО
Релиз конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий» 55

При перепечатке ссылка на издание обязательна

На обложке – строительная площадка второй сцены Мариинского театра

Энергоэффективность и энергосбережение. Французский взгляд*

Вопросы энергоэффективности сегодня стали актуальными в нашей стране. В конце 2009 года был принят закон №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ», призванный на федеральном уровне контролировать энергопотребление (подробнее об этом законе см. на стр. 5). Тем не менее, такие, безусловно, положительные тенденции еще новы для России, и многие, включая строителей, только начинают всерьез задумываться о таких понятиях, как энергоэффективность.

В то же время в Западной Европе вопросы энергосбережения рассматриваются уже давно. Так, повышение нормативного удельного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, произошедшее у нас скачком в 2000 г., в Европе планомерно проводится с 70-х гг. XX века (подробнее об этом см. статью А.С. Горшкова на стр. 9). То же касается и использования возобновляемых источников энергии, и «бытового» энергосбережения, включающего установку приборов учета всех видов энергии.

С 11 по 15 января в г. Гренобль, Франция, проходила стажировка для представителей российских и казахских вузов, позволившая нам познакомиться с европейским взглядом на проблемы энергоэффективности.

Прежде всего, стоит отметить, что в Европе эти вопросы рассматриваются с другой стороны. В России энергосбережение – это прежде всего вопрос разумного потребления энергии, включающий и строительство, обеспечивающее минимальное энергопотребление в процессе возведения и эксплуатации здания. В Европе же в первую очередь рассматривается вопрос производства энергии, минимизирующего отрицательное воздействие на окружающую среду и позволяющего не зависеть от конечных запасов гидрокарбонатов. Понятно, что Франция, не имеющая собственных запасов нефти и природного газа, заинтересована в поиске альтернативных источников энергии в первую очередь. Сегодня 80% французской энергетики – атомная. Это дает стране энергетическую независимость, а также низкую по европейским меркам стоимость энергии. Тем не менее, атомная энергия не является абсолютно чистой, что неудобно, прежде всего, с политической точки зрения. Таким образом, использование возобновляемых источников – один из приоритетов развития энергетического комплекса современной Франции.

Что касается стороны энергопотребления, более близкой нам, она также учитывается в европейской концепции энергоэффективности. Причем энергосбережение может осуществляться на различных уровнях, от местного до глобального. Так, например, в университете Pierre-Mendes-France был разработан проект снижения вредных выбросов, производимых университетом. Он включал энергоаудит (об этом см.: День финского энергоаудита в России // Инженерно-строительный журнал, №7(9), 2009) и последующие меры по повышению энергоэффективности. Одной из таких мер была, например, модернизация климатических систем университета.

О более глобальном проекте нам рассказали в учреждении «Grenoble Alpes Metropole», объединяющем представителей нескольких департаментов из региона «Рона-Альпы» и отвечающем, в том числе, за вопросы климатической политики. Одним из основных направлений деятельности организации является проект модернизации социального жилья в регионе. Сейчас осуществляется капитальный ремонт жилья, построенного в период с 1945 по 1975 гг., что в перспективе может обеспечить снижение энергопотребления этих домов в 3 раза. 1975 г. Выбран границей потому, что начиная с этого года во Франции появляются первые нормативные требования к теплосберегающим качествам жилья. Основные мероприятия таковы:

- внешняя изоляция фасадов;
- изоляция крыши;
- замена окон;
- модернизация системы вентиляции.

Все это требует около 15000 евро на здание.

По словам директора по инновациям Scneider Electric Клода Рико, системы отопления, вентиляции и кондиционирования действительно являются одним из важнейших ресурсов энергосбережения. И инновации, позволяющие регулировать эти системы в зависимости от различных факторов, позволяют эту экономию воплотить в жизнь.

Вера Якубсон

** Статья подготовлена в рамках проекта TEMPUS ETF-JP-00237-2008*

Научная конференция в ГОУ СПбГАСУ

3-5 февраля в ГОУ «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» (СПбГАСУ) проходила ежегодная 67-я Научная конференция профессоров, преподавателей, научных работников, инженеров и аспирантов университета. Заседания проходили в 49 секциях, в конференции также участвовали представители других вузов.

Были представлены такие популярные секции, как «Актуальные вопросы инженерной геологии, механики грунтов и фундаментостроения», «Железобетонные и каменные конструкции», «Строительные материалы и технологии».

Интересной и представительной была секция металлических конструкций. Руководитель секции, Григорий Иванович Белый, д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Металлические конструкции и испытание сооружений» ГОУ СПбГАСУ, выступил с основополагающим докладом. В нем он, прежде всего, обозначил необходимость развития научной школы в области исследования металлических конструкций. Сейчас ситуация в этом направлении оставляет желать лучшего: ведущие институты, такие как ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова и ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, находятся в плачевном состоянии; научных исследований по практическим методам расчета конструкций ведется очень мало. При этом новые решения, такие как легкие и быстровозводимые конструкции, уже внедряются в строительную практику, хотя еще недостаточно изучены. Есть и другая сторона этой проблемы: прогрессивные решения не обеспечиваются нормативной базой, которая отстает и вообще не прописывает, например, расчет легких стальных тонкостенных конструкций (ЛСТК) или узлов с использованием новых видов профилей (об этом см., например: Санкт-Петербург как российский центр изучения ЛСТК // Инженерно-строительный журнал, №6(8), 2009).

Также Г.И. Белый рассказал об исследовании уже существующих металлических конструкций: обследовании и проверочных расчетах. Изменение характера работы конструкций может быть вызвано различными причинами, такими как ошибки при монтаже или изменение свойств самого металла, приводящее к хрупкому разрушению. При обследовании конструкций Г.И. Белый рекомендует выделять три вида трещин: временно допустимые, очень опасные и недопустимые. Такая классификация должна сделать обследование и выдачу рекомендаций более точными. Пока четких критериев нет, но их можно определить опытным путем при мониторинге конструкций.

При проверочных расчетах рекомендуется учитывать множество моментов, в том числе:

- возможную неравномерную осадку фундаментов;
- реальное пространственное положение конструкций;
- дефекты и повреждения (искривления элементов, расстройство узлов);
- фактическое сопряжение элементов конструкций;
- внеузловое приложение нагрузок.

Таким образом, мы видим, что для практической работы с металлическими конструкциями необходимо еще множество научных исследований в этой области.

О таких исследованиях рассказали другие докладчики секции. Так, несколько докладов было посвящено исследованию влияния сварки на несущую способность и деформации строительных конструкций. Аспирант ГОУ СПбГАСУ Дмитрий Олегович Колесник провел сравнение использования сварки и болтового соединения металлических конструкций. Преимуществами сварки являются простота выполнения и отсутствие ослабления сечения после окончания сварки. При этом основным недостатком является развитие сварочных деформаций. Владимир Владимирович Михаськин в своем докладе «Экспериментальные исследования пространственной устойчивости усиленных под нагрузкой стержневых элементов» показал, что сварочные процессы не только добавляют деформации, но и в итоге снижают несущую способность конструкции на 25%.

Старший преподаватель ГОУ «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» (СПбГПУ) Алексей Владимирович Улыбин рассказал о новом способе контроля напряженно-деформированного состояния металлических конструкций. Точнее, резистивный электроконтактный метод уже довольно давно используется в машиностроении, но для строительных конструкций он новый. По словам А.В. Улыбина, пока этот метод является более удобным аналогом метода тензорезисторов. В то же время, по мнению Г.И. Белого, у этой методики значительно большие перспективы, если удастся ее доработать.

Аспирант ГОУ СПбГПУ Денис Николаевич Смазнов свой доклад посвятил моделированию работы тонкостенных стальных профилей в п/к SCAD Office. Наиболее сложным вопросом является моделирование перфорированных профилей (т.н. термопрофилей) методом конечных элементов. В работе рассматривались три модели: «идеальный» профиль, т.е. замоделированный с просечками; профиль с удаленной перфорированной частью и профиль с утоньшенной стенкой. Статью Д.Н. Смазнова, где рассматривается, в т.ч., моделирование стальных профилей в SCAD, см. в № 3(5), 2009 нашего журнала.

В секции «Строительные материалы и технологии» много внимания было уделено вопросам модификации бетонов. Так, Ирина Утарбаевна Аубакирова, к.т.н., доцент, заместитель руководителя испытательного центра «СПбГАСУ», выступила с докладом «Особенности структуры и свойств полиармированных фибробетонов», посвященным исследованию различных составов армированных бетонов. По ее словам, дисперсное армирование одним видом волокна обычно улучшает только одну группу свойств бетона. Например, армирование стальной фиброй малого диаметра повышает прочностные показатели и трещиностойкость; стальной проволокой большого диаметра – технологические (деформационные) свойства; синтетическими волокнами – пористость бетона. По итогам исследования рекомендуется сочетание фрезерной и полипропиленовой фибры, которое дает улучшение одновременно деформационных свойств, прочности и пористости бетона. При этом фрезерная фибра обладает тем преимуществом, что хорошо распределяется по объему бетона и не комкуется.

К.т.н., старший научный сотрудник Сергей Николаевич Панарин рассказал об использовании отходов гранулированного щебня в бетонах. Эти отходы могут использоваться как в пенобетонах, так и в мелкозернистых высокопрочных цементных бетонах. При приготовлении таких бетонов используется механоактивация: пыль с мелкими отходами пропускается через дробилку. Исследование имеет прямое практическое приложение: уже летом этого года планируется приступить к монтажу установки.

Газобетон также является сегодня активно развивающимся материалом. Об исследованиях его теплофизических свойств рассказал Глеб Иосифович Гринфельд, соискатель ГОУ СПбГПУ. По результатам этих испытаний газобетон был отнесен к категории конструкционно-теплоизоляционных материалов (ранее был теплоизоляционным). Подробно о процессе и результатах исследования см. статью Г.И. Гринфельда в №8(10), 2009 нашего журнала.

Вера Якубсон

Политика Санкт-Петербурга в области энергосбережения и энергоэффективности

19 февраля 2010 г. в Санкт-Петербурге проходил круглый стол «Энергетический потенциал Санкт-Петербурга – энергосбережение и инновации» в рамках международного проекта «Энергоэффективность – инновационная политика государства и гражданского общества. Социальная ответственность перед будущими поколениями».

Одним из основополагающих докладов стало выступление Олега Борисовича Тришкина, председателя Комитета по энергетике и инженерному обеспечению, разъясняющее применение в Санкт-Петербурге закона 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ» от 23.11.2009.

О.Б. Тришкин выделил основные этапы реализации энергоэффективности в соответствии с 261-ФЗ:

1. До 15.05.2010 все организации с участием государства или муниципального образования, а также организации, осуществляющие регулируемые виды деятельности, обязаны принять программы энергосбережения и повышения энергоэффективности. Требования к таким программа прописаны в законе.

2. С 01.07.2010 все снабжающие организации должны устанавливать приборы учета ресурсов, которые они поставляют. При этом они не могут отказать обратившимся к ним с этой целью потребителям.

3. До 01.08.2010 должны быть приняты региональные и муниципальные программы энергосбережения.

4. До 31.12. 2012 должно в государственных организациях и организациях с государственным участием быть проведено первое обязательное энергетическое обследование (об энергетическом обследовании см.: День финского энергоаудита в России // Инженерно-строительный журнал, №7(9), 2009).

Также в соответствии с Постановлением Правительства РФ №1221 государственный заказ размещается в соответствии с требованиями энергоэффективности. Это относится и к строительной отрасли: Минэкономразвития должно разработать требования к энергоэффективности ограждающих конструкций и инженерных сетей зданий и сооружений.

По словам О.Б. Тришкина, политика Санкт-Петербурга в области энергосбережения идет опережающими темпами. Так, приборы учета уже установлены в государственных учреждениях. Кроме того, проведена замена наружных светильников на основе дуговых ртутных ламп (ДРЛ) на энергоэффективные. Пока дальнейшее следование закону затормаживается отсутствием подзаконных актов, которых пока принято только 4 из необходимых 49.

Что касается нормативной деятельности Правительства Санкт-Петербурга в области энергоэффективности, об этом рассказал Игорь Иванович Шикалов, начальник Методического отдела Комитета по строительству Санкт-Петербурга. Наше издание неоднократно писало о деятельности Комитета по созданию Региональных методических документов (РМД), пришедших на смену территориальным строительным нормам (ТСН). Сейчас ведется разработка отдельного документа по энергоэффективности зданий и сооружений. РМД будут иметь рекомендательный характер, но уже принято решение, что при осуществлении городского заказа их применение будет обязательным. Кроме того, они уже приняты Президиумом Союза строительных объединений и организаций в качестве стандарта, и идут переговоры с ведущими саморегулируемыми организациями города. Таким образом, применение этих нормативных документов в Санкт-Петербурге де-факто станет обязательным.

Далее представители проектных, строительных, снабжающих организаций рассказали о различных энергоэффективных решениях, уже приведенных в жизнь или еще планирующихся. Так, генеральный директор ООО «Петербургтеплоэнерго» Вячеслав Анатольевич Бузин свой доклад посвятил реконструкции систем теплоснабжения, проведенной компанией (о проблемах существующей системы теплоснабжения Санкт-Петербурга см.: В.С. Слепченок, Г.П. Петраков. Система теплоснабжения Санкт-Петербурга на современном этапе и возможности ее модернизации // Инженерно-строительный журнал, №7(9), 2009). В Петроградском районе была проведена перекладка всех сетей протяженностью 610 км. Открытая система

была заменена на закрытую, установлено погодозависимое оборудование и пенополиуретановая изоляция (о трубопроводах в ППУ изоляции см. статью на стр. 23). Эти меры дали экономию по газу 40 млн м^3 по сравнению с 2008 г. при сохранении поставок тепла.

Также В.А. Бузин говорил о реализации закона 261-ФЗ. Прежде всего, следует учитывать, что такие мероприятия, как энергетическое обследование и установка приборов учета населению в рассрочку с минимальной процентной ставкой, потребуют больших капитальных затрат. И эти затраты придется учесть в тарифах. Кроме того, город гарантировал ОАО «Газпром» возврат инвестиций через 8,5 лет, что тоже, скорее всего, будет достигнуто частично за счет повышения тарифов. По словам Ирины Игоревны Бугославской, заместителя председателя Комитета по тарифам Санкт-Петербурга, тарифы для населения в любом случае будут расти, т.к. сейчас плата составляет только 83% от экономически обоснованной. При этом вводятся новые нормативы, например, на тариф по тепловой энергии в зависимости от состояния жилья и его теплозащитных качеств.

Теплозащитные свойства домов Санкт-Петербурга в любом случае планируется повышать. Так, заместитель генерального директора Санкт-Петербургского фонда поддержки промышленности Николай Владимирович Питиримов рассказал о реализации международного проекта «Энергоэффективность – инновационная политика государства и гражданского общества. Социальная ответственность перед будущими поколениями». Этот проект был анонсирован на Петербургском инновационном форуме в 2009 г., основная его идея – льготное кредитование энергоэффективной реконструкции зданий. Был разработан типовой проект реконструкции для домов 137 серии и заключено соглашение с представителями банков.

Александр Викторович Гетманов, руководитель проекта ОАО «Позитрон», рассказал об аналогичном, уже частично реализованном проекте – санации «хрущевок». В соответствии с проектом планировалось утепление фасадов, замена окон, модернизация системы вентиляции, введение регулируемого отопления и установка узлов учета (о подобном проекте во Франции см. стр. 2). Реализованы были только первые два мероприятия, что, безусловно, привело к нежелательным результатам (анализ подобной ситуации проводится в статье А.С. Горшкова на стр. 9).

Вера Якубсон

Защиты инженеров-строителей в ГОУ СПбГПУ

В феврале в ГОУ «Санкт-Петербургский государственный политехнический университет» проходили защиты дипломных работ и проектов специалистов. В том числе, защиты проходили на кафедре «Технология, организация и экономика строительства» инженерно-строительного факультета.

Основная часть работ представляла собой дипломные проекты в области гражданского строительства. В каждом проекте была выделена какая-то часть: конструктивные решения, инженерные сети или расчет экономической эффективности. В некоторых работах были рассмотрены специфические разделы: например, Владимир Амиранович Бускадзе разрабатывал конструктивные решения спортивно-оздоровительного комплекса в г. Сочи с учетом сейсмического воздействия.

Особое внимание комиссии обратили на себя дипломные работы Сергея Дмитриевича Федотова и Сергея Владимировича Зубкова, посвященные вопросам обследования строительных конструкций. Так, работа С.В. Зубкова была посвящена оценке состояния конструктивных элементов памятника архитектуры – Второго Господского дома усадьбы «Приютино». Студентом было проведено детальное обследование конструкций и выданы рекомендации по реставрации объекта.

Третья дипломная работа, «Армирование оболочки железобетонной башенной градирни с защитным экраном» Дмитрия Игоревича Голубева, явилась частью крупной научной тематики, над которой работают на факультете несколько лет, – разработки защитного экрана для башенных градирен.

Вера Якубсон

Энергоэффективность зданий. Ситуация в Финляндии

Д.т.н., директор отдела «Энергия и Окружающая среда» П. Сормунен*,
Инженерное бюро Олоф Гранлунд АО

История

Изменения климата в будущем неизбежны. Ученые подсчитали, что средняя температура на земном шаре за период 1990-2100 гг. поднимется предположительно на 7°С в случае, если мировая экологическая политика не будет способствовать сокращению выбросов парниковых газов в атмосферу. С другой стороны, предполагается, что при эффективной борьбе против выбросов парниковых газов среднее повышение температуры составит лишь 3-4°С.

Долгосрочная цель экологической политики Финляндии направлена на сокращение выбросов парниковых газов к 2050 году по меньшей мере на 80% ниже уровня 1990 года, она является частью международного проекта в сотрудничестве с крупнейшими странами, борющимися за экологию. Переход к обществу с низкими выбросами парниковых газов требует повышения эффективности использования энергии, разработки новых технологий, денежных инвестиций и внедрения технологий практически во все секторы экономики, особенно в строительство, промышленность и транспорт.

В настоящее время в Финляндии выбросы парниковых газов по секторам экономики распределяются в долях, упрощенно представленных на диаграмме (рис. 1). Доля зданий в выбросах – примерно 40%.

Рисунок 1. Распределение источников парниковых газов по секторам экономики Финляндии

Так что в наших силах предотвратить глобальное потепление за счет повышения энергоэффективности зданий. Программа должна включать, как говорится в старинном финском образном выражении, «kerpiä, porkkanaa ja tamburiinia» – «кнуты, морковки и барабаны», где «кнуты» – конкретное влияние со стороны государства на положение дел с теплоэффективностью зданий, «морковки» – государственная финансовая поддержка возобновляемых видов энергии и «барабан» – пресса, повышение уровня информированности населения, вынос экологических и энергетических вопросов на повестку дня.

Новые финляндские строительные нормы 2010 года, касающиеся экономии энергии

Финляндские строительные нормы в энергетическом плане обновятся в 2010 году. Табл. 1 наглядно показывает, как ужесточались нормы и требования к теплопроводности здания, герметичности конструкции и теплопотерям за последние 30 лет в Финляндии.

Новые энергоэкономичные нормы 2010 года сокращают потребление тепловой энергии на 30-40% по сравнению с предыдущими нормами. В 2012 году нормы ужесточатся еще примерно на 20%.

В 2012 году также произойдет переход к рассмотрению общего энергообмена и рассмотрению первичной энергии.

Под выражением «первичная энергия» подразумевается производство энергии для здания, другими словами, не покупная энергия, а энергия, получаемая на участке (например, солнечная или геотермальная).

Таблица 1. Изменение требований к теплопроводности зданий в Финляндии

Коэффициенты теплопередачи строительных конструкций	1976 г.	1978 г.	1985 г.	2003 г.	2007 г.	2010 г.
Наружные стены [Вт/м²*К]	0,40	0,29	0,28	0,25	0,24	0,17
Верхнее перекрытие [Вт/м²*К]	0,35	0,23	0,22	0,16	0,15	0,09
Нижнее перекрытие [Вт/м²*К]	0,40	0,40	0,36	0,25	0,24	0,17/0,16
Окна [Вт/м²*К]	2,10	2,10	2,10	1,40	1,40	1,00
Двери [Вт/м²*К]	0,70	0,70	0,70	1,40	1,40	1,00
Другие исходные данные для расчетов						
Значение – n50 Инфильтрация при разности давления 50 Па [1/час]	6	6	6	4	4	2
Годовой КПД утилизации тепла на вентиляцию [%]	0	0	0	30	30	50

Энергоэффективность зданий и низкоэнергозатратные дома

Ключевыми в энергоэффективности зданий являются три фактора:

- минимизация теплопроводности конструкции здания и окон;
- герметичность здания;
- эффективное использование рекуперации тепла на вентиляцию.

Уменьшение расходов тепловой энергии может привести к небольшому росту потребления электроэнергии для увеличения использования оборудования рекуперации тепла. Потребность в охлаждении здания также может незначительно возрасти, так как в герметичных зданиях излишки тепла в летнее время будут оставаться в помещениях.

В Финляндии Государственный научно-исследовательский институт (VTT) предоставил нормы расходов на отопление помещений и общего энергопотребления зданий. Они приведены в табл. 2.

Таблица 2. Типы зданий и потребление энергии для обычных зданий, низкоэнергозатратных домов, пассивных домов и домов с почти нулевыми энергозатратами

	Расход энергии на отопление, кВтч/год							
Тип здания	Обычное здание (современное)		Низкоэнергозатратное здание		Пассивный дом		Здание с энергозатратами, близкими к нулевым	
	на 1 м^2	на 1 м^3	на 1 м^2	на 1 м^3	на 1 м^2	на 1 м^3	на 1 м^2	на 1 м^3
Жилой сектор	100	32	50	16	20	7	15	5
Офисные помещения	90	29	45	14	15	5	9	3
	Общий расход энергии, кВтч/год							
Тип здания	Обычное здание (современное)		Низкоэнергозатратное здание		Пассивный дом		Здание с энергозатратами, близкими к нулевым	
	на 1 м^2	на 1 м^3	на 1 м^2	на 1 м^3	на 1 м^2	на 1 м^3	на 1 м^2	на 1 м^3
Жилой сектор	200	64	140	45	80	26	20	6
Офисные помещения	140	45	85	27	45	15	14	4

** Пиия Сормунен, г. Хельсинки, Финляндия*

тел.:+358 10 759 2387; факс:+358 10 759 2421

Энергоэффективность в строительстве: вопросы нормирования и меры по снижению энергопотребления зданий

К.т.н., докторант А.С. Горшков*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Под энергоэффективностью в жилищном строительстве будем понимать комплекс мероприятий, направленных на снижение потребляемой зданиями тепловой энергии, необходимой для поддержания в помещениях требуемых параметров микроклимата, при соответствующем технико-экономическом обосновании внедряемых мероприятий и обеспечении безопасности. Таким образом, понятие энергоэффективности неразрывно связано с вопросами энергосбережения. Но только в том случае, если мероприятия, направленные на снижение потребляемой зданиями энергии, технически осуществимы, экономически обоснованны и безопасны.

Казалось бы, данная проблема решается довольно несложным образом. Чем меньше здание теряет тепла, тем меньшее количество энергии требуется подвести для восполнения тепловых потерь. В этой связи, на первый взгляд, наиболее простым и рациональным способом экономии энергии на отопление выглядит способ повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Начиная с 70-х годов прошлого столетия в Европе, а с 2000 года и в России требования к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций были, хоть и непропорционально, но существенно увеличены. В России с 2000 года применительно к стенам и покрытиям требования к уровню тепловой защиты были увеличены на 150-200%, к окнам – на 20-30%, при этом требования к сокращению затрат энергии на вентиляцию помещений были проигнорированы. Однако, несмотря на кажущуюся простоту решения обозначенной выше проблемы, данный способ снижения энергозатрат и, как следствие, повышения энергоэффективности в принятой терминологии, имеет свои ограничения и, кроме того, не всегда оказывается эффективным с экономической точки зрения.

Во-первых, изменение тепловых потерь через 1 м^2 ограждающей конструкции (Q) в зависимости от приведенного сопротивления теплопередаче ($R_0^{пр}$) изменяется по гиперболической зависимости (рис. 1). Представленная на рисунке 1 зависимость соответствует климатическим условиям города Москвы (ГСОП=4943,4 °С·сут/год).

Из приведенного графика (рис. 1) видно, что по мере увеличения приведенного сопротивления теплопередаче ($R_0^{пр}$) теплопотери (Q) уменьшаются вначале очень быстро, затем более медленно, и при некотором значении приведенного сопротивления теплопередаче ($R_0^{пр}$ ≥ 3 м^2·°С/Вт) теплопотери убывают очень незначительно. В то же время дальнейшее увеличение сопротивления теплопередаче (до 4,0÷5,0 м^2·°С/Вт) существенным образом увеличит себестоимость возведения квадратного метра стеновой конструкции. И эти затраты могут превысить экономию, которая достигается в результате увеличения теплозащитных свойств стены. Это означает, что дальнейшее увеличение сопротивления теплопередаче снизит расходы на отопление, но с учетом высоких капитальных затрат на возведение стены может оказаться экономически неэффективным шагом.

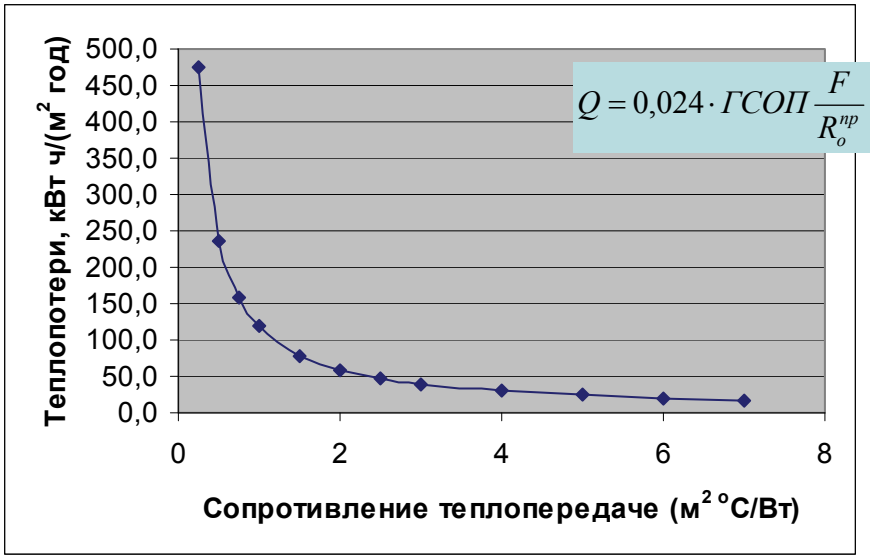


Рисунок 1. График зависимости теплопотерь через 1 м^2 ограждающей конструкции в зависимости от приведенного сопротивления теплопередаче

Расчеты показывают, что при нынешнем уровне цен на энергоносители экономически целесообразное сопротивление теплопередаче ($R_{эк}$), соответствующее минимуму приведенных затрат на возведение квадратного метра стены с учетом эксплуатационных расходов на отопление в течение срока эксплуатации 30-50 лет, находится в диапазоне от 2 до 4 $м^2 \cdot °C/Вт$. Экономически целесообразное значение сопротивления теплопередаче ($R_{эк}$) будет зависеть от стоимости и теплофизических характеристик материалов, из которых возводится стеновая ограждающая конструкция, типа стеновой конструкции (однородная стена, вентилируемый фасад и т.д.), а также от срока ее службы (долговечности), то есть времени, в течение которого могут быть подсчитаны все эксплуатационные расходы. В монографии [1], а также пособии [2] представлены формулы, по которым можно оценить оптимальное значение сопротивления теплопередаче стеновой конструкции по минимуму приведенных затрат. На рис. 2 представлена зависимость приведенных затрат (руб/ $м^2$) от толщины стены при предполагаемом безремонтном сроке эксплуатации 50 лет. Представленная зависимость была рассчитана для стены, возведенной из газобетонных блоков марки по плотности D400.

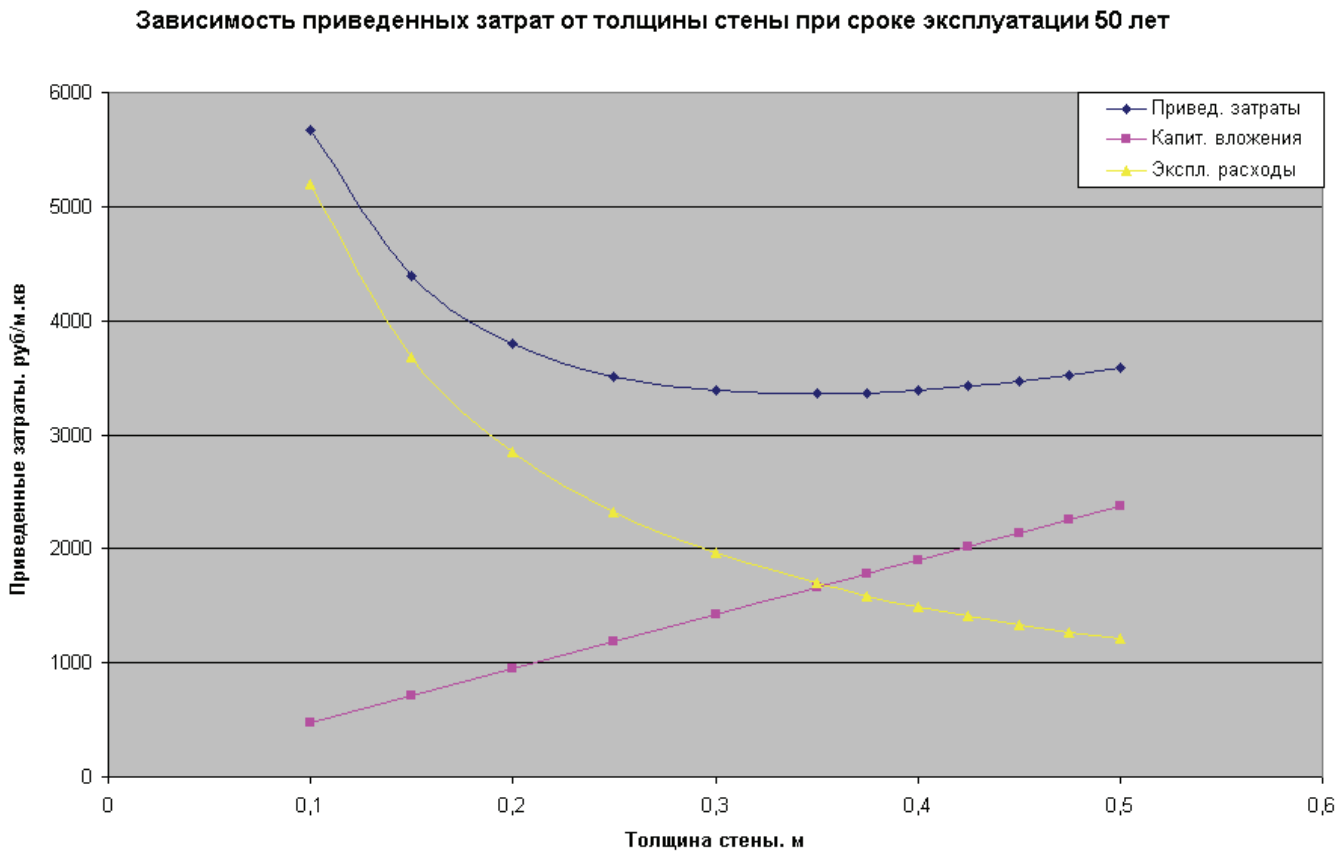


Рисунок 2. Определение оптимальной толщины стеновой конструкции по методу приведенных затрат

Из рисунка 2 видно, что по мере увеличения толщины стеновой конструкции, и как следствие, ее сопротивления теплопередаче, эксплуатационные затраты через 1 $м^2$ конструкции, рассчитанные на период 50 лет, уменьшаются в соответствии с законом, показанном на рисунке 1. В то же время капитальные вложения по мере увеличения толщины стены возрастают по линейному закону. Как следует из графика, минимум приведенных затрат соответствует толщине стены 0,35 м, что соответствует сопротивлению теплопередаче 3,15 $м^2 \cdot °C/Вт$ ($\lambda_Б$=0,117 Вт/м·°С по ГОСТ 31359 [3]). При меньшем эксплуатационном сроке минимум приведенных затрат будет соответствовать меньшей толщине стеновой конструкции, при большем – большей (рис. 3). Например, при сроке эксплуатации 25 лет оптимальная толщина стены составит 0,25 м, при сроке эксплуатации 60 лет – 0,375 м. Однако при сроках эксплуатации свыше 50 лет необходимо будет учитывать также затраты на проведение капремонтов, что неизменно скажется на расчетах.

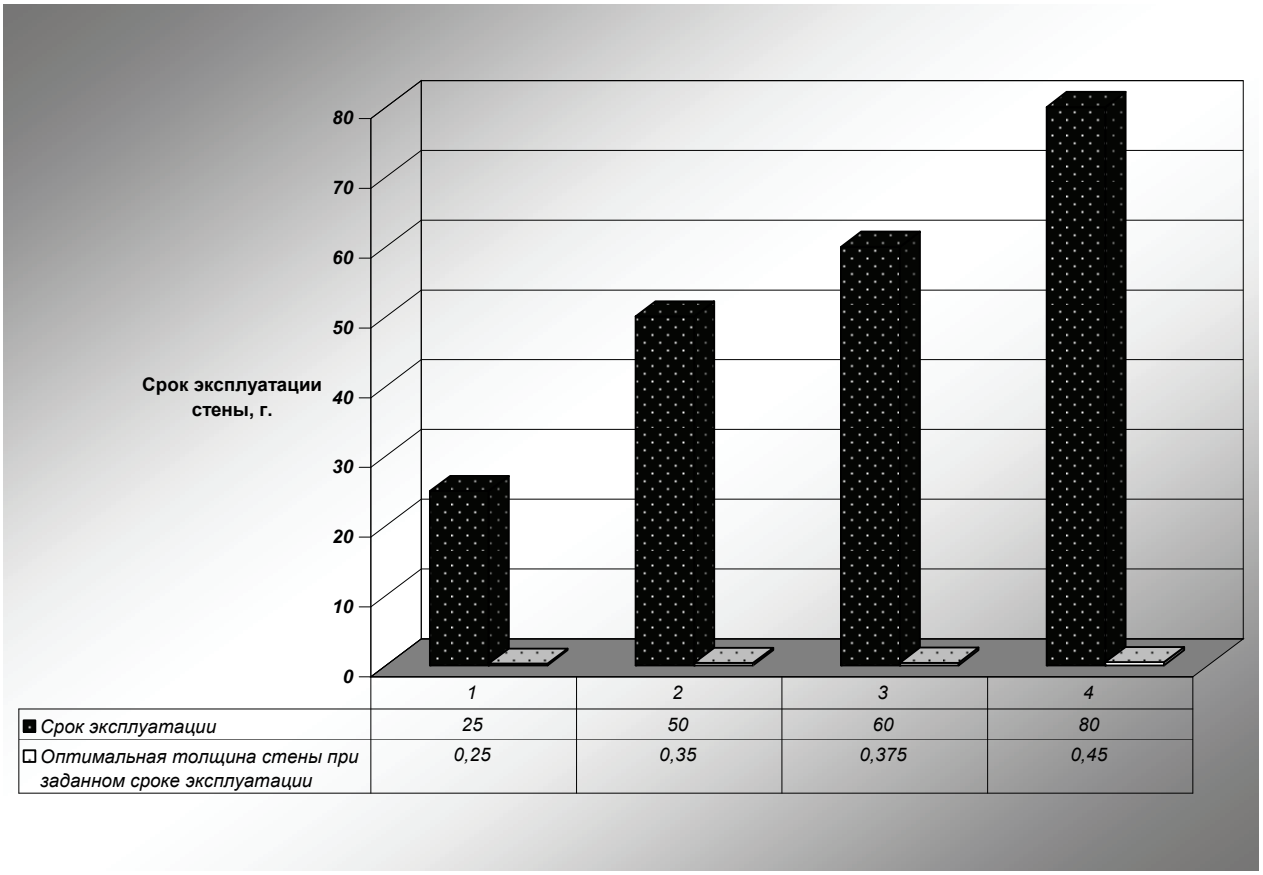


Рисунок 3. Оптимальная толщина стен из газобетона при различном рассматриваемом сроке эксплуатации

Все вышесказанное указывает на то, что при оценке экономической эффективности энергосберегающих мероприятий или внедрения энергосберегающих технологий необходимо учитывать их срок службы или эффективной эксплуатации. Это второе обстоятельство, на которое необходимо обращать внимание при выборе параметров теплозащиты ограждающих конструкций. Многие типы современных стеновых конструкций с более высокими показателями тепловой защиты оказываются неремонтопригодными, а применяемые в их составе материалы – недолговечными. Затраты на проведение капитальных ремонтов недолговечных ограждающих конструкций зданий могут частично или полностью компенсировать то уменьшение эксплуатационных расходов, которое обеспечивается за счет увеличения их теплозащитных качеств. Не стоит забывать о том, что затраты на проведение ремонтов (текущих, капитальных) по сути также представляют собой затраты энергии: на производство новых материалов, добычу полезных ископаемых для их изготовления, расход топлива при их перевозке, работу машин и механизмов и т.д. В этой связи не только уровень тепловой защиты ограждающих конструкций, но и показатели их капитальности (долговечности) следует относить к критериям энергоэффективности.

Последнее утверждение базируется на том основании, что при использовании материалов с низким сроком службы могут сложиться экономические условия, при которых все сэкономленные в результате энергосбережения средства после износа недолговечных материалов будут потрачены на их замену. На прошедшей в декабре 2009 года II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий» (релиз конференции см. на стр. 55) среди прочих было озвучено предложение установить зависимость между сопротивлением теплопередаче и классом капитальности (долговечности) ограждающих стеновых конструкций. Для стеновых конструкций с более низким классом капитальности было предложено установить более высокие требования к уровню тепловой защиты.

В-третьих, нельзя забывать о таком важном параметре, как требуемый воздухообмен помещений, необходимый для поддержания требуемого уровня микроклимата в помещениях (иначе говоря, вентиляция). При вентиляции происходит удаление пыли, бактерий, лишней влаги, поддерживается уровень кислорода в необходимой для нормальной жизнедеятельности и работоспособности концентрации. В зимний и, в общем случае, в любой период, в течение которого производится отопление помещений, энергия затрачивается, в том числе, на подогрев вентилируемого воздуха. Затраты на вентиляцию современных зданий при составлении энергетических паспортов оцениваются в 40÷50% всех затрат на отопление. При этом требуемый

уровень воздухообмена необходим как в «холодных» домах, так и «теплых». Отсюда следует, что как бы мы ни утепляли здание, расходы тепла на вентиляцию, без использования специальных инженерных методов, уменьшаться от этого не будут, и чем теплее у здания будет «шуба», тем большими в относительном выражении будут затраты на вентиляцию.

Подтверждением данного утверждения является следующий пример. В 2005 году сотрудниками ОАО «СПбЗНИиПИ» и ООО «НТЦ «Технологии XXI века» проводилось комплексное обследование здания в историческом центре города, в котором после реконструкции сопротивление теплопередаче было увеличено до 5 $м^2 \cdot °С/Вт$. При этом никаких инженерных решений по оптимизации затрат энергии на отопление, например, регулирования параметров теплоносителя по температуре воздуха в помещениях, не производилось. В результате в здании зимой регулярно происходил перетоп. Для уменьшения последствий перетопа, сотрудники, работающие в здании, также регулярно в течение всего отопительного периода по приходу на работу открывали окна, и в прямом смысле слова отапливали улицу вокруг здания.

Таким образом, становится понятным, что рациональным и экономически целесообразным способом повышения энергоэффективности является только сочетание различных конструктивных и инженерных мероприятий, например, увеличение теплозащитных свойств ограждающих конструкций (при условии, что срок эффективной эксплуатации внедряемых материалов, технологий и конструкций превышает период их окупаемости) при одновременном использовании современных инженерных энергосберегающих методов и технологий.

Однако, как показывает практика, и этих мер может оказаться недостаточно. Связано это в первую очередь с тем, что во многих случаях фактические и расчетные параметры энергоэффективности могут существенно отличаться друг от друга. В расчетах закладываются одни значения теплотехнических параметров (например, того же приведенного сопротивления теплопередаче), а на практике с учетом качества строительно-монтажных работ получаются совершенно другие. Кроме того, в проектах часто не учитывается теплотехническая неоднородность стеновых конструкций. В результате собственники жилых помещений вынуждены использовать для обогрева дополнительные источники энергии (электронагреватели, масляные радиаторы, тепловентиляторы и т.д.), дополнительно потребляя при этом энергию на отопление.

Для повышения степени соответствия расчетных и фактических затрат энергии на отопление зданий необходим контроль за энергопотреблением, достигаемый за счет совокупного выполнения следующих условий:

- обязательная установка во всех зданиях приборов учета всех видов энергии;
- наличие комплексной методики учета и контроля потребляемой зданием энергии;
- разработка норм потребления зданиями энергии.

Что касается последнего условия из представленного перечня, то наиболее рациональным способом их установления является потребительский подход к оценке уровня теплозащиты (показатель «в» требований тепловой защиты зданий по СНиП 23-02-2003 [4]). К сожалению, в практике проектирования чаще применяется предписывающий подход, а именно установление заданных численных значений сопротивления теплопередаче (показатель «а» требований по СНиП 23-02-2003 [4]). Однако последний показатель не всегда оказывается эффективным, а часто и достаточно спекулятивным. Рассчитываемое сопротивление теплопередаче зависит от толщины стеновой конструкции и коэффициентов теплопроводности входящих в ее состав материалов. При этом, чем меньше коэффициент теплопроводности (λ), тем выше термическое сопротивление ($R_т$) соответствующего слоя стены. В этих условиях производители строительных материалов соревнуются по принципу: у кого λ (лямбда) меньше. По сравнению с данными 20÷30-летней давности практически для всех теплоизоляционных материалов численные значения коэффициентов теплопроводности при неизменной плотности уменьшились, что само по себе достаточно непонятно с физической точки зрения.

Для оценки коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов из них вырезаются фрагменты размером 250×250 мм, высушиваются и лишь затем испытываются. Наличие эксплуатационной влаги в порах материала учитывается расчетным путем. Но не учитывается наличие инфильтрации воздуха через конструкцию, смятие или разрыхление утеплителя в процессе эксплуатации, наличие теплопроводных включений и т.д. Более того, в рекламных материалах отдельных производителей до сих пор встречаются расчетные значения коэффициента теплопроводности меньшие, чем коэффициент теплопроводности воздуха, что в реальных условиях эксплуатации стеновой конструкции вообще абсурдно.

Преимуществом потребительского подхода является более гибкий выбор материалов для ограждающих конструкций и инженерных методов для реализации требуемых параметров энергопотребления (удельных затрат энергии с квадратного метра площади или с кубического метра строительного объема здания). Кроме того, данный подход при наличии комплексной методики контроля и учета затрат энергии на отопление позволяет сравнивать расчетные и фактические параметры энергопотребления зданий, а после апробации и

отработки системы контроля и учета – регулировать нормы потребления в сторону их постепенного снижения, например, один раз в пять лет.

Таким образом, до сих пор, несмотря на увеличение требований по тепловой защите, энергоэффективность в нашей стране остается «бумажной».

Для реального уменьшения затрат энергии на отопление зданий необходимо:

1) разработать и установить нормативы энергопотребления в рамках потребительского подхода к уровню теплозащиты зданий;
2) для утепления зданий применять долговечные, проверенные климатическими условиями района строительства материалы;
3) более интенсивно и эффективно использовать инженерные методы и способы повышения энергоэффективности;
4) применять проверенные на практике архитектурные методы повышения энергоэффективности (например, уменьшение коэффициентов компактности зданий, регулирование планов при застройке жилых кварталов и т.д.);
5) разработать эффективную методику комплексного учета и контроля энергии, расходуемой на отопление здания;
6) законодательно установить меры ответственности застройщика при выявлении несоответствия между расчетными и фактическими параметрами энергопотребления зданий;
7) по мере внедрения и апробации системы контроля и учета потребляемой зданиями энергии, при условии соответствия расчетных и фактических параметров энергопотребления, постепенно, с заданной регулярностью, снижать нормативы энергопотребления.

Безусловно, при условии выполнения всех перечисленных выше инженерных мероприятий, количество затрачиваемой потребителями энергии будет уменьшаться, но насколько это будет выгодно потребителю, неизвестно. Для нейтрализации возможного повышения цен на энергоносители необходимо также принимать меры по увеличению энергоэффективности оборудования и устройств в самих генерирующих компаниях, уменьшению потерь энергии при транспортировке теплоносителя конечному потребителю, жесткому регулированию и контролю со стороны государства тарифов на тепловую энергию.

Проблему энергосбережения нужно решать. Но ее не решить каким-либо одним методом или способом, например, одним лишь утеплением зданий или заменой ламп накаливания на энергоэффективные. Для этого нужна комплексная государственная программа, разработка соответствующих законов, пропаганда этой программы населению. Нужны усилия не только со стороны государственных органов управления, ученых, средств массовой информации, но и участие в этом процессе обычных жителей страны. Только тогда эта программа станет действенной. А для этого нужно, чтобы людям было выгодно экономить на снижении энергопотребления. Как, например, выгодно стало заменять традиционные лампы накаливания на энергоэффективные [5-7].

Литература

1. Богословский В.Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха). учебник для вузов. 3-е изд. // СПб.: Изд-во «АВОК-Северо-Запад»., 2006. 400 с.
2. Рекомендации по применению стеновых мелких блоков из ячеистых бетонов// ЦНИИСК им. А.В. Кучеренко. М., 1987. – 98 с.
3. ГОСТ 31359-2007. Бетоны ячеистые автоклавного твердения. Технические условия.
4. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий.
5. Горшков А.С. Оценка экономической эффективности при использовании энергоэффективных источников света // Общероссийская газета «Энергетика», 2009. № 11-12 (23-24). – С. 9.
6. Войлоков И.А., Горшков А.С. Экономический анализ использования энергоэффективных источников света с точки зрения потребителя // Инженерно-строительный журнал, №5, 2009. – Стр. 47-50.
7. Савельев А.В. Итоги эксперимента по замене ламп накаливания на энергосберегающие в Москве // Энергосбережение, №4 М., 2008.

**Александр Сергеевич Горшков, Санкт-Петербург*

Тел. раб.: +7(812) 297-59-49; эл. почта: alsgor@yandex.ru

Энергосбережение и эффективность климатических систем

Коммерческий директор Л.Л. Гошка*,
ООО “Кола”

Сегодня тема энергосбережения очень популярна, программа повышения энергоэффективности активно поддерживается государством. В связи с этим в технических и даже в научных кругах возникает стремление к энергосбережению во всем. Безусловно, экономия энергии полезна и с экономической, и с экологической точек зрения. Но при этом необходимо строго следить за тем, чтобы соблюдались требования по экологической безопасности. В области климатизации зданий эти требования относятся к обеспечению приемлемого качества воздуха в помещении. В данной статье мы попытались сформулировать рекомендации по «разумному энергосбережению» при проектировании климатических систем.

Если проанализировать результаты, представленные в статье [1], можно прийти к выводу, что решение задачи обеспечения приемлемого качества воздуха в помещении сводится к стандартному решению, принятому в классической механике.

Примером такого решения служит вычисление средней скорости, с которой можно преодолеть расстояние S между пунктами A и B за время t. Если решение задачи разбить на две части, тогда первая часть решения задачи будет иметь фундаментальное значение, а вторая часть прикладное (коммерческое). Решение второй части задачи будет являться основой для реализации данной задачи на практике, т.е. для извлечения прибыли за счет использования тех или иных физических и биохимических процессов.

Результатом решения первой части задачи является установление пространственно-временной связи:

$$V=S/t$$

Таким образом, средняя скорость является параметром, который связывает пространство и время.

Для решения второй части задачи исходным данным служит средняя скорость, которая в первой части решения задачи определена для идеального случая. При решении второй части задачи, для того чтобы прибыть в конечный пункт в назначенное время t, следует определить, каким транспортным средством необходимо воспользоваться.

При выборе транспортного средства необходимо учитывать различные внешние условия, которые могут повлиять на среднюю скорость. К ним можно отнести состояние дорожного покрытия, погодные условия на трассе, загруженность самой трассы и т.д. Кроме того, важную роль при выборе играет назначение самого транспортного средства. Например, если ко времени t в пункт назначения необходимо доставить груз весом P тонн, а грузоподъемность транспортного средства составляет P/2, тогда задача будет решена, но за время в три раза больше назначенного. Все эти параметры будут определять капитальные вложения при приобретении транспортного средства, и влиять на эксплуатационные затраты. Основным параметром, который будет определять эксплуатационные затраты, является расход топлива, т.е. количество энергии, которое необходимо затратить на перемещение груза из пункта A в пункт B.

Если с целью снижения эксплуатационных затрат транспортное средство будет обеспечено топливом, которого хватит только на половину пути, тогда задача не имеет решения. Вероятность того, что задача не будет выполнена, повышается в случаях, если с целью экономии финансовых средств на эксплуатацию своевременно и качественно не было проведено техническое обслуживание и ремонт транспортного средства. Своевременное выполнение задачи существенно зависит от квалификации водителя.

Очевидно, что самым эффективным из всех транспортных средств, удовлетворяющих вышеизложенным требованиям, будет то средство, характеристикой которого будет наименьший расход топлива. Расход топлива также существенно будет влиять и на время окупаемости капитальных вложений.

Отсюда можно сделать вывод, что без решения первой части задачи при выборе транспортного средства повышается риск неэффективного использования финансовых средств. Другими словами, одной из причин неэффективного использования финансовых средств может являться отсутствие решения первой части задачи, и как результат этого, вторая часть задачи может не иметь решения.

Оценить эффективность вложения финансовых средств в обеспечение приемлемого качества воздуха в помещении можно через соотношение стоимости климатического оборудования, из которого были созданы климатические системы, способные поддерживать в помещении приемлемое качество воздуха, к стоимости всего климатического оборудования, проданного на климатическом рынке за год. Учитывая острую проблему синдрома больного здания, мы можем сделать вывод, что эффективность вложения финансовых средств в обеспечение приемлемого качества воздуха в помещении крайне низкая.

На наш взгляд, причиной является то, что на сегодняшний день вторая часть задачи по обеспечению приемлемого качества воздуха в помещении не имеет решения. Это связано с тем, что в действиях проектировщика при создании климатических систем в соответствии с постулатами Парацельса [2] имеется неопределенность в оценке риска отрицательного влияния воздуха на организм человека:

Неопределенность=Вариабельность+отсутствие сведений.

А должны получать

Риск=(Токсичность)×(Доза).

Если

Экспозиция=Доза,

тогда

Риск=(Токсичность)×(Экспозиция),

где риск – вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан [3];

доза – основная мера экспозиции, характеризующая количество химического вещества, воздействующего на организм;

экспозиция (воздействие) – контакт организма (рецептора) с химическим, физическим или биологическим агентом. Величина экспозиции определяется как измеренное или рассчитанное количество агента в конкретном объекте окружающей среды, находящееся в соприкосновении с так называемыми пограничными органами человека (легкие, пищеварительный тракт, кожа) в течение какого-либо точно установленного времени. Экспозиция может быть выражена как общее количество вещества в окружающей среде (в единицах массы, например, мг), или как величина воздействия – масса вещества, отнесенная к единице времени (например, мг/день).

Поэтому далее попытаемся решить первую часть задачи. Очевидно, что в начальных данных поставленной задачи, так или иначе, должен фигурировать человек, т.к. организм человека реагирует на любые изменения химического состава и концентраций химических соединений в воздухе помещений в виде изменения протекания биохимических реакций внутри организма. Тем самым, если искусственно менять те или иные параметры воздуха в помещении, можно управлять риском отрицательного влияния воздуха на организм человека (влияя на протекание тех или иных биохимических реакций внутри организма).

Другими словами, нашей целью будет извлечение прибыли за счет снижения до минимума риска[1] отрицательного влияния воздуха на организм человека и обеспечение функционирования организма человека в зоне оптимума.

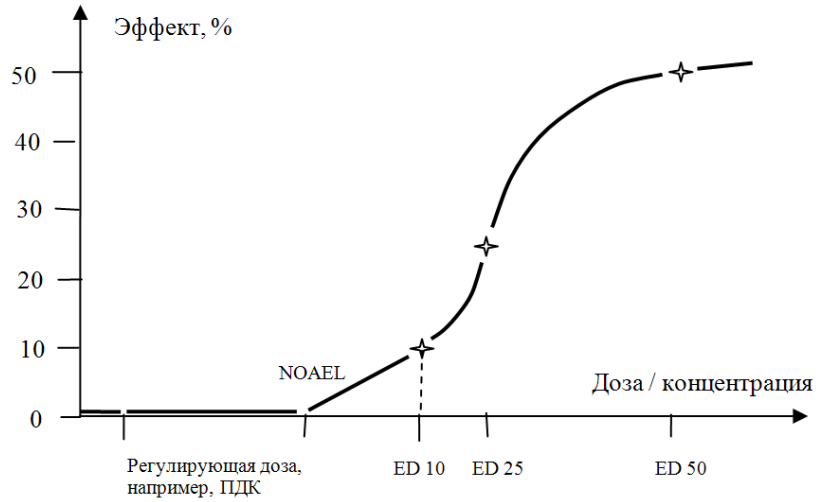


Рисунок 1. Зависимость «доза – ответ» [3]. Эффект – вероятность проявления синдрома больного здания. NOAEL – наивысшая доза, при которой не наблюдается вредного эффекта (аналогичен термину «максимальная недействующая доза/концентрация»). ED 10 – эффективная доза. Доза, соответствующая 10% увеличению неблагоприятного эффекта по отношению к NOAEL.

Управлять риском отрицательного влияния воздуха на организм человека возможно за счет управления экспозицией, т.е. используя зависимость «экспозиция-ответ». Зависимость «экспозиция-ответ» – связь между воздействующей дозой (концентрацией), режимом, продолжительностью воздействия и степенью выраженности, распространенности изучаемого вредного эффекта в экспонируемой популяции.

В нашем случае за степень выраженности, распространенности изучаемого вредного эффекта в экспонируемой популяции можно взять вероятность (риск) проявления эффекта синдрома больного здания (рис. 1).

[1] Управление риском – процесс принятия решений, включающий рассмотрение совокупности политических, социальных, экономических, медико-социальных и технических факторов совместно с соответствующей информацией по оценке риска с целью разработки оптимальных решений по устранению или снижению уровней риска, а также способам последующего контроля (мониторинга) экспозиций и рисков.

Для характеристики риска развития неканцерогенных эффектов наиболее часто используются такие показатели зависимостей «доза-ответ», как максимальная недействующая доза и минимальная доза, вызывающая пороговый эффект (для неканцерогенов и канцерогенов, обладающих негенотоксическим механизмом действия). Эти показатели являются основой для установления уровней минимального риска – референтных доз (RfD) и концентраций (RfC) химических веществ. Их применение характеризует правдоподобие отсутствия вредных реакций. Превышение референтной (безопасной) дозы не обязательно связано с развитием вредного эффекта: чем выше воздействующая доза, и чем больше она превосходит референтную, тем выше вероятность появления вредных ответов. Однако оценить эту вероятность при данном методическом подходе не возможно. В связи с этим итоговые характеристики оценки экспозиции на основе референтных доз и концентраций получили название коэффициентов и индексов опасности (HQ, HI)

При ингаляционном поступлении расчет коэффициента опасности может осуществляться по формуле:

$$HQ_i=C_i/RfC, \quad (1)$$

где HQ – коэффициент опасности воздействия вещества i;
C_i – уровень воздействия вещества i, мг/м^3;
RfC – безопасный уровень воздействия, мг/м^3.

Для решения нашей задачи выражение (1) можно представить как:

$$HQi=Ch_i/C_{пдк}, \quad (2)$$

где Ch_i – концентрация i-го вещества в воздухе помещения, мг/м^3,
$C_{пдк}$ – предельно допустимая концентрация i-го вещества в воздухе помещения, мг/м^3.

Таким образом, в начальный момент времени t_0=0. Произведя в помещении замеры инструментальным методом, можно определить концентрацию i-го вещества.

Полученные данные позволяют, используя уравнение (2), вычислить начальное значение HQ_0. При непрерывном поддержании значения HQ_0 на данном уровне мы получаем определенную вероятность проявления синдрома больного здания. Таким образом, мы получили первую точку в пространстве. Поскольку решением нашей задачи является снижение вероятности проявления синдрома больного здания до уровня, соответствующего нулевой отметке, нам необходимо тем или иным способом перенести эту точку в пространстве из начального ее положения в точку NOAEL (рис. 2). Следовательно, второй точкой в пространстве будет коэффициент опасности воздействия вещества $HQ_{n=}1$.

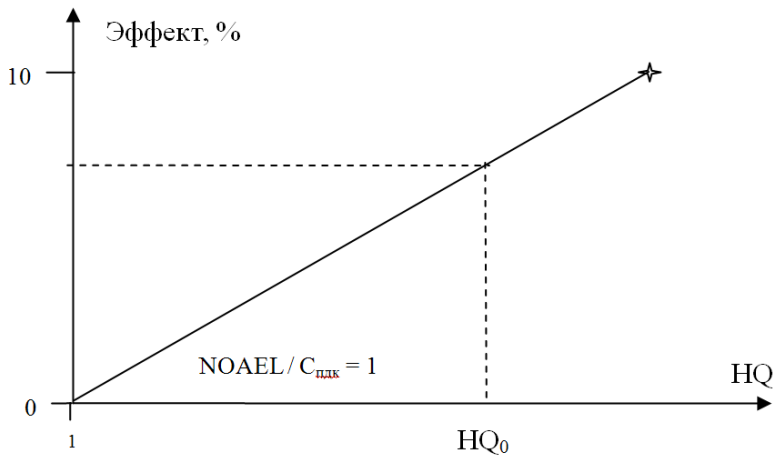


Рисунок 2. Зависимость «начальный коэффициент опасности вещества – ответ»

Очевидно, что для того чтобы изменить значение коэффициента опасности воздействия вещества, потребуется использовать некий метод и, в соответствии с используемым методом, изменение значения коэффициента произойдет за время t. Мы воспользуемся методом разбавления химических соединений в помещении за счет использования атмосферного воздуха. Для этого можно использовать различные технические решения, например, систему вентиляции. Но можно использовать и баллон со сжатым атмосферным воздухом или любое другое устройство, способное подавать в помещение атмосферный воздух. Работу данных устройств можно описать как:

$$V_{атм}=L\cdot t \quad (3),$$

где $V_{атм}$ – объем атмосферного воздуха, поданный в помещение устройством за время t, м^3;
L – расход атмосферного воздуха, которое обеспечивает в помещении устройство, м^3/час.

Таким образом, мы можем получить связь между пространством и временем через расход наружного воздуха L.

Поэтому, для того чтобы задача имела решение в первой части, необходимо установить связь между изменением коэффициента опасности воздействия вещества и объемом атмосферного воздуха, который необходимо будет подавать в помещение.

Количественные соотношения, устанавливающиеся при разбавлении растворов водой, смешении растворов, газов или твердых материалов различных концентраций, можно найти на основании материального баланса [1].

Для упрощения решения задачи будем считать, что источник загрязнения в помещении отсутствует.

Разбавление i-го вещества в помещении за счет использования атмосферного воздуха можно описать как:

$$HQ_j=(HQ_{j-1}\cdot V_{пом.}+HQ_{атм}\cdot\Delta V_{нар})/(V_{пом.}+\Delta V_{нар}) \quad (4),$$

где j от 1 до n; $0 \le HQ_{атм} \le 1$; $HQ_n=1$; n – количество шагов при разбавлении; $V_{пом.}$- объем помещения, м^3; $\Delta V_{нар}$ – объем атмосферного воздуха, подаваемый в помещение за один шаг при разбавлении, м^3; HQ_0 – начальное значение коэффициента опасности воздействия i-го вещества в помещении; $HQ_{атм}$ – значение коэффициента опасности воздействия i-го вещества в атмосферном воздухе.

Или системой уравнений:

$$HQ_1=(HQ_0\cdot V_{пом.}+HQ_{атм}\cdot\Delta V_{нар})/(V_{пом.}+\Delta V_{нар})$$

$$HQ_2=(HQ_1\cdot V_{пом.}+HQ_{атм}\cdot\Delta V_{нар})/(V_{пом.}+\Delta V_{нар})$$

$$HQ_3=(HQ_2\cdot V_{пом.}+HQ_{атм}\cdot\Delta V_{нар})/(V_{пом.}+\Delta V_{нар}) \quad (5)$$

……..

$$HQ_{n-1}=(HQ_{n-2}\cdot V_{пом.}+HQ_{атм}\cdot\Delta V_{нар})/(V_{пом.}+\Delta V_{нар})$$

$$HQ_n=(HQ_{n-1}\cdot V_{пом.}+HQ_{атм}\cdot\Delta V_{нар})/(V_{пом.}+\Delta V_{нар})$$

Решением системы уравнений является выражение:

$$HQ_j=(HQ_0-HQ_{атм})\cdot[V_{пом.}/(V_{пом.}+\Delta V_{нар})]^j+HQ_{атм} \quad (6)$$

где j от 1 до n

Из уравнения (6) следует, что изменение коэффициента опасности воздействия i-го вещества в помещении зависит от объема подаваемого в помещении атмосферного воздуха:

$$V_{нар}=\sum\Delta V_{jнар},$$

где j от 1 до n,

Прологарифмировав уравнение (6) при j=n и, выразив из него n, получаем:

$$n=\frac{\lg\left[\left(HQ_0-HQ_{атм}\right)/\left(HQ_n-HQ_{атм}\right)\right]}{\lg\left[\left(V_{пом}+\Delta V_{нар}\right).V_{пом}\right]} \quad (7).$$

Тогда объем атмосферного воздуха $V_{нар}$, который будет необходимо подать в помещение, можно определить как:

$$V_{нар}=\Delta V_{нар}\cdot n, \quad (8)$$

Подставляя выражение (7) в (8) получаем:

$$V_{нар}=\frac{V_{нар}\cdot\lg\left[\left(HQ_0-HQ_{атм}\right).\left(HQ_n-HQ_{атм}\right)\right]}{\lg\left[\left(V_{пом}+\Delta V_{нар}\right)/V_{пом}\right]} \quad (9),$$

где $HQ_n=1$

На рис. 3 представлен график зависимости изменения объема атмосферного воздуха $V_{нар}$ в м^3, который необходимо будет подавать в помещение, чтобы изменить коэффициент опасности воздействия i-го вещества в помещении от начального значения $HQ_0=5$ до $HQ_n=1$ при граничных условиях, когда для разбавления используется:

1. чистый атмосферный воздух, $HQ_{атм}=0$
2. атмосферный воздух, загрязненный до уровня ПДК, $HQ_{атм}=1$.

Разделим правую и левую часть уравнения (9) на $V_{пом}$:

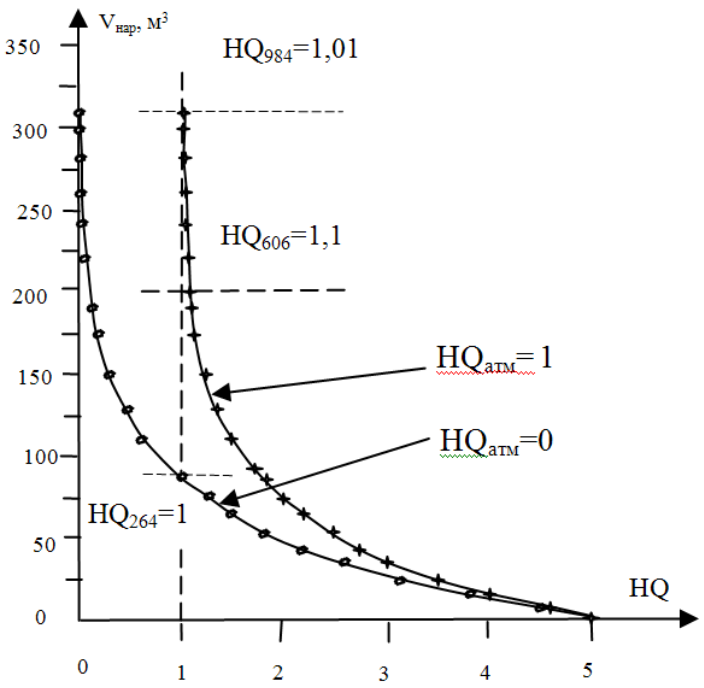


Рисунок 3. График зависимости изменения объема атмосферного воздуха в м^3, который необходимо будет подавать в помещение, чтобы изменить коэффициент опасности воздействия i-го вещества в помещении от значения HQ_0 =5 до HQ_n=1

$$V_{нар} / V_{пом} = \frac{\lg\left[\left(HQ_0 - HQ_{атм}\right)/\left(1 - HQ_{атм}\right)\right]}{\lg\left[1 + \Delta V_{нар} / V_{пом}\right]^{V_{пом}/\Delta V_{нар}}}$$

Обозначим $K=V_{нар}/V_{пом}$, где К – кратность смены воздуха в помещении. Учитывая, что условием разбавления является $V_{пом.}>>\Delta V_{нар}$,

$\lg [1.+\Delta V_{нар}/V_{пом.}]^{V_{пом} / \Delta V_{нар}}=0,43$,

а уравнение (9) принимает вид:

$K=2,3\cdot\lg[(HQ_0 - HQ_{атм})/(HQ_n - HQ_{атм})]$ (10),

где HQ_n=1.

Из уравнения (10) следует, что, определив концентрацию i-го вещества в помещении и в атмосферном воздухе, можно рассчитать необходимую кратность смены воздуха в помещении.

Таким образом, вентиляционная система обеспечивает смену воздуха:

$L\cdot t=2,3\cdot V_{пом}\cdot\lg[(HQ_0 - HQ_{атм})/(1 - HQ_{атм})]$ (11)

где L – расход наружного воздуха, который обеспечивает вентиляционная система, м^3/час;

t – время (режим) работы вентиляционной системы, час.

При практической реализации такой смены воздуха можно считать, что по окончании работы вентиляционной системы, когда в помещение будет подан весь необходимый объем атмосферного воздуха, организм конечного пользователя данной вентиляционной системы будет функционировать на границе между зоной оптимума и верхней зоны регуляции [4, 5]. А режим работы вентиляционной системы для организма конечного пользователя этой системы будет являться временем экспозиции (рис. 4).

Для того чтобы функционирование организма конечного пользователя данной вентиляционной системой привело к правой границе зоны оптимума (допустимое значение), потребуется минимальное количество энергии на подогрев наружного воздуха:

$Q_{min}=2,33\cdot c_p\cdot\rho_н\cdot(T_в - T_н)\cdot V_{пом}\cdot\lg[(HQ_0 - HQ_{атм})/(1-HQ_{атм})]$ (12),

где c_p – теплоемкость воздуха, c_p=1,005 кДж/кг · ^{0}C;

$\rho_н$ – плотность наружного воздуха при расчетных температурах, кг/м^3 ;

$T_в$ и $T_н$ – значения температуры наружного и внутреннего воздуха в помещении.

При дальнейшем загрязнении атмосферного воздуха $HQ_{атм}$ от 0 до 1 и при остальных равных условиях минимальное количество энергии вырастет на:

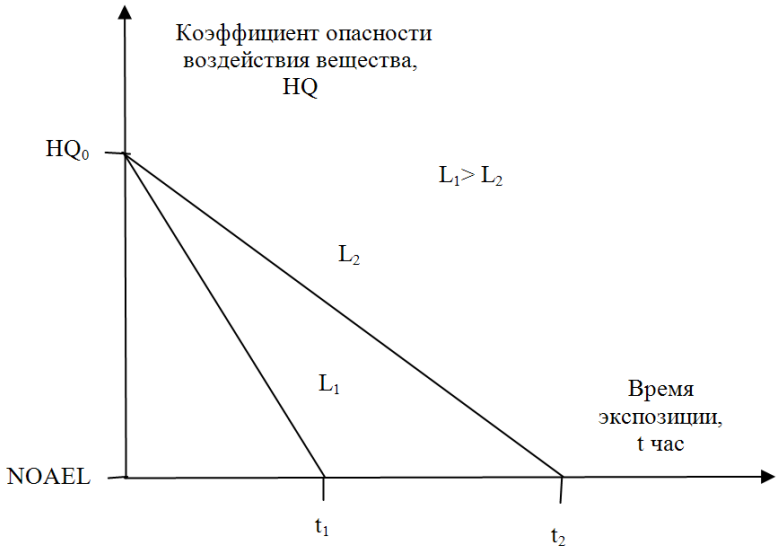


Рисунок 4. Зависимость коэффициента опасности воздействия вещества в воздухе помещения от времени экспозиции при различных расходах наружного воздуха

$\Delta Q_{min}=2,33\cdot c_p\cdot\rho_н\cdot(t_в - t_н)\cdot V_{пом}\cdot\lg\{(HQ_0 - HQ_{атм})/[(1 - HQ_{атм})\cdot HQ_0]\}$ (13).

Например, дальнейшее увеличение концентрации углекислого газа в атмосферном воздухе может привести к изменению климата в сторону потепления, тогда необходимое количество энергии на отопление помещения уменьшится пропорционально повышению $T_н$. А количество энергии, необходимой на вентиляцию

помещения, будет возрастать по логарифмической зависимости, и в пределе будет стремиться к бесконечности:

$$\lim_{HQ_{атм}\to 1} \lg\left[\left(HQ_0 - HQ_{атм}\right)/\left(1 - HQ_{атм}\right)\right] = \infty$$

Административные меры по сокращению минимального количества энергии на вентилирование помещений приведет к риску возникновения в организме человека органоминеральных агрегатов (кальцита) и появлению ацидоза. Кроме того, можно ожидать увеличения количества мутаций в организме человека [9].

При высоком загрязнении атмосферного воздуха такие меры неизбежно будут приняты. По мере загрязнения атмосферного воздуха будет увеличиваться потребность в необходимом минимальном количестве энергии на вентилирование помещений, и эта потребность превысит физическую возможность производства энергии.

Следовательно, для снижения энергопотребления при обеспечении приемлемого качества воздуха в помещении необходимы эффективные меры по внедрению энергосберегающих технологий.

Приведем уравнение (10) к виду:

$$HQ_0=10^{0.43\cdot K}\cdot (HQ_п - HQ_{атм})+HQ_{атм} \quad (14),$$

где $HQ_п=1$

Данная зависимость приведена на рис. 5.

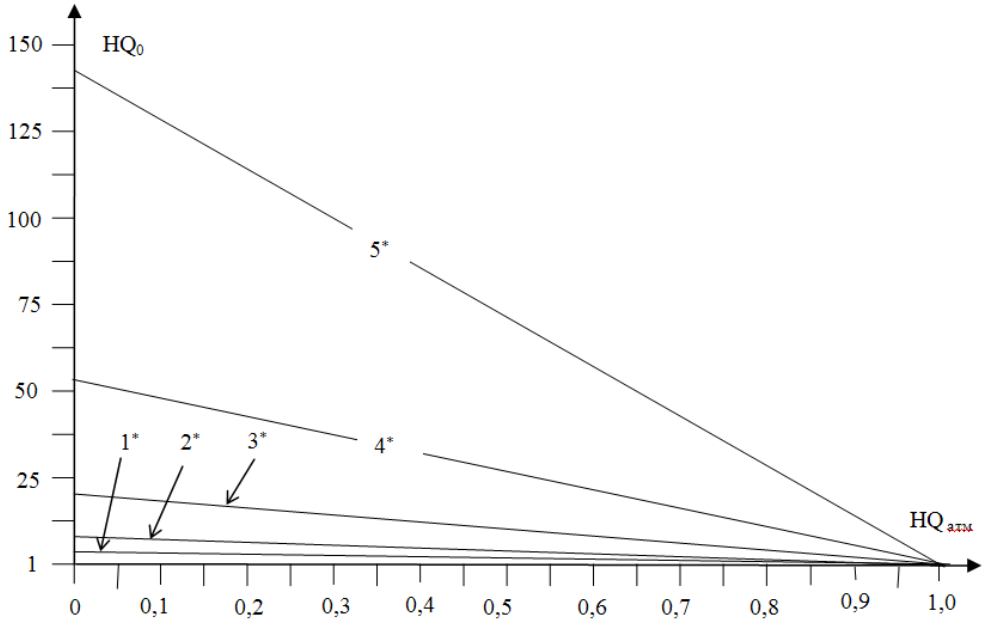


Рисунок 5. Зависимость коэффициента опасности воздействия вещества в помещении от уровня загрязнения атмосферного воздуха при различной кратности смены воздуха в помещении К

Из графика зависимости коэффициента опасности воздействия вещества в помещении HQ_0 от уровня загрязнения атмосферного воздуха $HQ_{атм}$ при различной кратности смены воздуха в помещении К можно сделать вывод, что по мере загрязнения атмосферного воздуха эффективность разбавления падает. При фиксированном значении необходимой кратности смены воздуха в помещении К и увеличении значения коэффициента опасности воздействия вещества i в атмосферном воздухе $HQ_{атм}\to 1$ из-за падения эффективности разбавления коэффициент опасности воздействия вещества i в помещении падает $HQ_0 \to 0$.

Рассмотрим два граничных условия: $HQ_{атм}=0$ и $HQ_{атм}=1$. Для того чтобы исключить появление неопределенности в аргументе функции логарифма, будем считать, что при $HQ_{атм}=1$ значение NOAEL достигается при $HQ_п=1{,}01$.

Обозначим $pHQ_0=\lg HQ_0$; $p(HQ_0-1)=\lg (HQ_0-1)$.

Тогда из уравнения (10) получаем:

при $HQ_{атм}=0$

$$pHQ_0=0.43\cdot K \quad (15);$$

при $HQ_{атм}=1$

$$P(HQ_0-1)=0.43\cdot K+\lg (HQ_п-1)=0.43\cdot K-2 \quad (16).$$

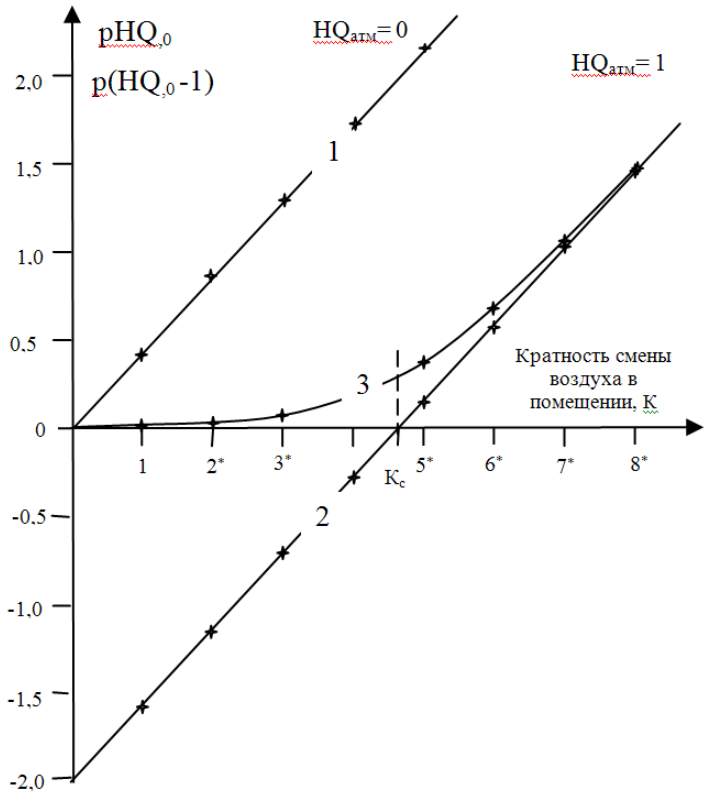


Рисунок 6. График зависимости величин pHQ_0 и $p(HQ_0-1)$ от кратности смены воздуха в помещении К при различных условиях:
pHQ_0 при $HQ_{атм}$= 0;
$p(HQ_0-1)$ при $HQ_{атм}$= 1;
pHQ_0 при $HQ_{атм}$= 1.

А прологарифмировав уравнение (14), получаем:

$$pHQ_0=\lg[10^{0.43K}\cdot(HQ_n-1)+1]=\lg[0{,}01\cdot10^{0.43K}+1] \quad (17).$$

Результаты расчетов приведены на рис. 6.

Отметим на рис. 6 характерную точку K_c. Тогда:

1) зону в интервале $0<K\le K_c$ можно определить как зону наименьшей эффективности разбавления;
2) зону при $K>K_c$ можно определить как зону наибольшей эффективности разбавления.

А значение K_c разделяет эти две зоны. Тогда значение K_c можно определить из условия, что $p(HQ_0-1)=0$:

$$K_c=-\lg(HQ_n-1)/0{,}43$$

Таким образом, чем меньше будет задана разница между значениями HQ_n и NOAEL, тем ширина зоны наименьшей эффективности разбавления будет больше, т.е. эффективность разбавления будет падать.

Пусть К=Σ m,
где К – общая кратность смены воздуха в помещении; m – единичный элемент кратности К.

Для того чтобы различать начальные данные HQ_0 и промежуточные значения HQ, обозначим промежуточные значения HQ как $HQ_{K,m}$.

Тогда общую закономерность кратности смены воздуха в помещении можно изобразить следующим образом:

$$HQ_{1.0}=HQ_{2.1}=HQ_{3.2}=\ldots\ldots$$

$$HQ_{2.0}=HQ_{3.1}=HQ_{4.2}=\ldots\ldots$$

$$HQ_{3.0}=HQ_{4.1}=HQ_{5.2}=\ldots\ldots$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

$$HQ_{K.0}=HQ_{K+1.1}=HQ_{K+2.2}=\ldots\ldots$$

Для наглядности полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1

Наимено-вание	Кратность смены воздуха в помещении, К= $V_{нар}/V_{пом}$.															
	HQ_n =1, $HQ_{0\ атм}$ =0, $HQ_0 = 10^{0.43\cdot K}$								HQ_n =1,01, $HQ_{0\ атм}$ =1, $HQ_0 = (0.01\cdot10^{0.43\cdot K}\cdot +1)$							
	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*
$HQ_{K.0}$	2,70	7,24	19,50	52,48	141,25	380,19	1023,29	2754,23	1,027	1,072	1,195	1,525	2,413	4,802	11,23	28.54
$HQ_{K.1}$	1,00	2,70	7,24	19,50	52,48	141,25	380,19	1023,29	1,010	1,027	1,072	1,195	1,525	2,413	4,802	11,23
$HQ_{K.2}$	-	1,00	2,70	7,24	19,50	52,48	141,25	380,19	-	1,010	1,027	1,072	1,195	1,525	2,413	4,802
$HQ_{K.3}$	-	-	1,00	2,70	7,24	19,50	52,48	141,25	-	-	1,010	1,027	1,072	1,195	1,525	2,413
$HQ_{K.4}$	-	-	-	1,00	2,70	7,24	19,50	52,48	-	-	-	1,010	1,027	1,072	1,195	1,525
$HQ_{K.5}$	-	-	-	-	1,00	2,70	7,24	19,50	-	-	-	-	1,010	1,027	1,072	1,195
$HQ_{K.6}$	-	-	-	-	-	1,00	2,70	7,24	-	-	-	-	-	1,010	1,027	1,072
$HQ_{K.7}$	-	-	-	-	-	-	1,00	2,70	-	-	-	-	-	-	1,010	1,027
$HQ_{K.8}$	-	-	-	-	-	-	-	1,00	-	-	-	-	-	-	-	1,010

Далее, используя общую закономерность кратности смены воздуха в помещении и уравнение (12), можно определить меры, которые могут приводить к энергосбережению.

1. При невысоком загрязнении атмосферного воздуха $HQ_{атм}<1$ эффективной энергосберегающей технологией можно считать технологию утилизации теплоты удаляемого воздуха.

$$Q_{min}=Q_{пр}+Q_{вт},$$

где $Q_{пр}$ – количество тепла, получаемого при прямом нагреве наружного воздуха;

$Q_{вт}$ – количество тепла, получаемого за счет вторичных энергетических ресурсов.

Чем больше будет доля использования вторичных энергетических ресурсов в процессе обеспечения приемлемого качества воздуха в помещении, тем меньше потребуется установленная мощность калорифера.

2. При высоком загрязнении атмосферного воздуха $HQатм \approx 1$, например, углекислым газом эффективной энергосберегающей технологией будет глубокая очистка наружного воздуха.

По данным Д.С. Робертсона [7], естественной концентрацией CO_2 в атмосферном воздухе можно считать значение C_a=320 ppm. На сегодняшний день концентрация CO_2 в атмосферном воздухе составляет C_a=373 ppm. Предельной концентрацией можно считать уровень $C_{пдк}$=426 ppm. Тогда коэффициент опасности воздействия углекислого газа в атмосферном воздухе составляет:

$$HQ^{ест}_{атм}=320/426=0,75.$$

На сегодняшний день этот коэффициент составляет:

$$HQ_{атм}=373/426=0,875.$$

По данным Е.О. Шилькрота и Ю. Д. Губернского [8], «измерения в офисах и на улицах Москвы показали, что в ряде офисов уровень CO_2 достигал 2 000 ppm и выше».

Воспользуемся этими данными и возьмем значение HQ_0=2000/426=4.7 и рассчитаем по уравнению (10), какая кратность смены воздуха при проветривании (проветривание осуществляется в отсутствие людей в помещении) требовалась бы в естественных условиях и в настоящее время.

При проветривании помещения атмосферным воздухом с C_a=320 ppm:

$$K_{320}=2,33 \cdot \lg[(4,7 – 0,75)/ (1 – 0,75)]=2,8$$

При проветривании помещения атмосферным воздухом с C_a=373 ppm:

$$K_{373}=2,33\cdot \lg[(4,7 – 0,875)/ (1 – 0,875)]=3,5$$

Учитывая общую тенденцию к повышению концентрации углекислого газа в атмосферном воздухе, спрогнозируем, какая кратность смены воздуха в помещении потребуется при более высоких значениях $HQ_{атм}$.

При проветривании помещения атмосферным воздухом с C_a=420 ppm $HQ_{атм=}$420/426=0.986:

$$K_{420}=2,33 \cdot \lg[(4,7 – 0.986)/ (1 – 0.986)]=5.6.$$

При проветривании помещения атмосферным воздухом с C_a=425 ppm $HQ_{атм=}$425/426=0.9977:

$$K_{425}=2,33 \cdot \lg[(4,7 – 0.9977)/ (1 – 0.9977)]=7,5$$

Следует отметить, что данный расчет производился в отсутствие источника загрязнения в помещении. В присутствие людей в помещении (при наличии источника CO_2) кратность смены воздуха в помещении может возрасти. Следовательно, возрастет Q_{min}, и значения будут совершенно другими.

Поэтому глубокая очистка наружного воздуха за счет уменьшения значения $HQ_{атм}$ позволит повысить эффективность разбавления углекислого газа в помещении и тем самым уменьшит необходимую кратность смены воздуха в помещении К.

3. Дополнительной энергосберегающей технологией можно считать технологию воздухораспределения в помещении. Переход от технологии перемешивания воздуха в помещении к технологии вытеснения и персональной вентиляции позволяют виртуально уменьшить объем помещения до объема зоны дыхания. Но при таком воздухораспределении по высоте помещения возникает градиент концентраций, который может приводить к конвекционным потокам. Между тем данная технология является достаточно перспективной.

Использование всех этих технологий в комплексе как меры по снижению энергопотребления при обеспечении приемлемого качества воздуха в помещении (профилактике различных заболеваний) может привести к хорошему экономическому эффекту.

Итак, решение задачи обеспечения приемлемого качества воздуха в помещении методом разбавления воздуха в помещении за счет атмосферного воздуха привело к тому, что вместо рассмотрения зависимости «доза – ответ» необходимо и достаточно знать кратность смены воздуха в помещении и допустимое время экспозиции.

По этому поводу в статье [8] был сделан важный вывод:

«В настоящее время принято считать, что основными вредностями в офисных помещениях являются продукты жизнедеятельности человека, в первую очередь углекислый газ. Это положение было введено в гигиеническую практику M. Pettenkofer еще в позапрошлом веке. Кроме углекислого газа, загрязнителями воздуха в помещениях офисов служат антропотоксины, а также вредные выделения, содержащиеся в приточном наружном воздухе, и вредные выделения от элементов интерьера помещения – ограждающих конструкций, покрытий, предметов обстановки и т. п. Таким образом, становится очевидным, что определяющим при установлении необходимого воздухообмена являются исследования, выполненные врачами-гигиенистами».

Поскольку разбавление всех химических соединений подчиняется одной и той же функциональной зависимости, в соответствии с выражением (10) проектировщику для грамотного проектирования климатических систем достаточно знать кратность смены воздуха в помещении и допустимое время экспозиции, которые ему должны давать врачи-гигиенисты, используя инструментальные методы измерений.

Если данный механизм взаимодействия врачей-гигиенистов и проектировщиков будет запущен как государственное регулирование, направленное на обеспечение здоровья населения, тогда могут появиться инструментальные методы контроля качества воздуха в помещении в процессе эксплуатации климатических систем.

Данный механизм взаимодействия, освобождая проектировщика от необходимости расчета воздухообмена, ориентирует его на внедрение энергосберегающих технологий. Тем самым эффективность вложения финансовых средств в обеспечение приемлемого качества воздуха в помещении будет возрастать.

Литература

1. Гошка Л.Л. Климатические системы: расчет воздухообмена в помещении //Инженерно-строительный журнал, №8/2009. СПб, 2009.
2. Новиков С.М. Химическое загрязнение окружающей среды: основы оценки риска для здоровья населения. М., 2002.
3. Р 2.1.10.1920-04. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. М., 2004.
4. Гошка Л.Л. Климатические системы: влияние воздуха на организм человека // Инженерно-строительный журнал, №1/2009. СПб, 2009.
5. Гошка Л.Л. Климатические системы и образование патогенных биоминералов в организме человека // Инженерно-строительный журнал, №2/2009. СПб, 2009.
6. Гошка Л.Л. Разрушение строительных материалов с точки зрения метода кристаллизации в гелях //Инженерно-строительный журнал, №3/2009. СПб, 2009.
7. Робертсон Д.С. О том, как влияет растущий уровень CO_2 в атмосфере на организм человека // Журнал «С.О.К.», №4/2008.
8. Шилькрот Е.О., Губернский Ю.Д. Сколько воздуха нужно человеку для комфорта? // Журнал АВОК, №4/2008.
9. Гошка Л.Л. Климатические системы: влияние воздуха на клеточные функции. // Инженерно-строительный журнал, №6/2009. СПб, 2009.

**Леонид Леонидович Гошка, г. Сыктывкар*

Тел. раб.: +7 (8212) 29-10-24, факс: +7 (8212) 24-44-10; эл. почта: tookola@mail.ru

Создание испытательного центра для проверки качества пенополиуретановой изоляции предизолированных трубопроводов, применяемых в системах теплоснабжения

Начальник технического отдела И.А. Королев
Завод «Изоляционные технологии»
Советник генерального директора Г.П. Петраков*
Группа компаний «Сто Третий Трест»

В «Энергетической стратегии России на период до 2030 года» (утв. распоряжением Правительства РФ от 13.11.2009 №1715-р) в разделе «Теплоснабжение» заявлено следующее: «результаты реализации энергетической стратегии в сфере развития теплоснабжения признать неудовлетворительными». Ситуация, описанная в данном документе целиком по нашей стране, имеет место и в Санкт-Петербурге, а именно:

- значительная часть теплосетей находится в сверхнормативной эксплуатации;
- до 70% проложено в технологически устаревшей армопенобетонной изоляции;
- значительная часть трубопроводов, реконструированных за последние 15 лет с применением технологии изоляции ППУ в полиэтиленовой оболочке, выполнена с существенными недоработками.

В связи с этим основным направлением научно-технической и инновационной политики в сфере теплоснабжения для тепловых сетей является поиск новых конструктивных решений, позволяющих масштабно снизить потери тепла, повысить надежность и увеличить срок службы тепловых сетей и экономичность их работы.

За последние десять лет в России трубы с индустриальной изоляцией из пенополиуретана (ППУ) в защитной оболочке получили широкое распространение, и на сегодняшний день они являются, на наш взгляд оптимальным решением для систем теплоснабжения.

Тепловая изоляция из ППУ имеет достаточно длительную историю. Впервые разработкой полиуретанов занялись ученые Германии в 1935 г. Так, в 1937 г. химиком Отто Байером был получен первый жесткий полиуретановый пенопласт. Промышленное производство ППУ на основе сложных полиэфиров было организовано в Германии в 1944 г., а их аналогов на основе более дешевых простых полиэфиров – в США в 1957 г. Первые трубопроводы в ППУ изоляции были смонтированы в 1974-1976 г. в Западной Европе и США. Эти трубопроводы показали высокую надежность в течение 30-40 лет эксплуатации. В настоящее время в Германии доля трубопроводов в ППУ изоляции составляет 75%, а в Дании – до 95% от всей протяженности тепловых сетей.

Массовое внедрение ППУ изоляции в России началось в 90-х годах. Но в условиях российской действительности при внедрении данной технологии многие важные вопросы были оставлены без внимания. Этому способствовало отсутствие у российских строительных и теплоснабжающих организаций достаточного опыта эксплуатации таких трубопроводов, а главное – отсутствие критериев оценки качества отдельных устройств и трубопровода в целом. Также необходимо отметить, что в Европе практически нет тепловых сетей диаметром свыше 530 мм.

Ситуация изменилась в 2001 г. с выходом ГОСТ 30732 [1], в котором были описаны требования к продукции. В основу ГОСТ 30732 были положены как европейские стандарты DIN EN 253 [2] (и DIN EN 489 [3]), так и российские разработки. Впоследствии стандарт был переиздан в 2006 г. В ГОСТ 30732-2006 был расширен ассортимент продукции и более подробно описаны требования к полиэтиленовой оболочке.

Тем не менее, есть в ГОСТ 30732-2006 и свои недостатки. В нем заложена возможность «экономии на качестве»: так, некоторые показатели, обязательные для контроля в DIN EN 253, приведены в нем как факультативные. Недобросовестные производители этим пользуются, снижая затраты за счет качества продукции. Впоследствии это может приводить к преждевременному выходу из строя некачественных трубопроводов и дискредитации технологии в целом.

Второй важный момент заключается в том, что в ГОСТ 30732-2006 нет четкого определения типового образца и нет деления всего типоразмерного ряда на группы по диаметрам, как, например, в ГОСТ 18599-2001 [4] или ГОСТ 52134-2003 [5]. Согласно ГОСТ 30732-2006 в качестве типового образца можно выбрать образец трубы диаметром 57 мм, и результат его испытания будет распространяться на всю продукцию, включая трубы диаметром 1020 мм. Также отсутствует общепринятая нормативная база и оборудование для испытания конструкций стыковых соединений большого диаметра, что не позволяет осуществлять сравнение надежности различных конструкций. Практически отсутствует независимый контроль

над строительными организациями. Очевидно, что такая ситуация не в интересах как добросовестных производителей, так и потребителей, которым в конечном итоге приходится терпеть недопоставку тепла в результате аварий в системе теплоснабжения.

В настоящее время в Санкт-Петербурге создается «Испытательный центр» с целью преодоления сложившейся в России негативной ситуации. Отличительной особенностью этой лаборатории будет наличие оборудования, позволяющего испытывать предизолированные трубопроводы диаметром до 530 мм в полном объеме согласно ГОСТ 30732-2006, DIN EN 253 и DIN EN 489. Такое оборудование на сегодня в России и в ближнем зарубежье отсутствует.

Основной задачей центра является контроль качества тепловой изоляции элементов трубопроводов с индустриальной ППУ изоляцией в полиэтиленовой защитной оболочке на соответствие требованиям российских и зарубежных стандартов. Кроме того, задачей центра является разработка методик и испытание новых узлов трубопроводов, а также проведение работ по повышению надежности и увеличению ресурса трубопроводов тепловых сетей.

Испытательный центр будет организован в два этапа:

- I этап – создание стационарной лаборатории для проведения испытаний ППУ изоляции трубных элементов диаметром до 530 мм на соответствие требованиям нормативов (см. табл. 1);
- II этап – создание мобильной лаборатории для контроля качества проведения монтажных работ на объектах тепловых сетей.

Таблица 1. Методы испытаний образцов трубных элементов и стыковых соединений

№	Наименование метода	Нормативный документ
	Испытание элементов конструкции	
1	Испытание образцов на осевой сдвиг при температуре 23 и 140°С	ГОСТ 30732-2006, DIN EN 253
2	Испытание образцов на тангенциальный сдвиг при температуре 23 и 140°С	ГОСТ 30732-2006, DIN EN 253
3	Испытание образцов изоляции стыковых соединений на надежность	DIN EN 489
4	Испытание тепловой изоляции на радиальную ползучесть	ГОСТ 30732-2006, DIN EN 253
	Испытание материалов теплоизоляции	
5	Прочность и относительное удлинение оболочки при разрыве	ГОСТ 11262-80
6	Изменение длины труб оболочек после прогрева	ГОСТ 30732-2006, DIN EN 253
7	Прочность материала оболочки при постоянном растяжении	ГОСТ 30732-2006, DIN EN 253
8	Определение физико-механических характеристик ячеистых пластмасс	ГОСТ 17177-94, ГОСТ 23206-78
9	Определение теплопроводности теплоизоляционных материалов	ГОСТ 30732-2006

Первый этап создания центра был начат осенью 2009 г., уже к февралю 2010 г. на заводе «Изоляционные технологии» была смонтирована первая установка для испытания конструкции на тангенциальный сдвиг (см. фото 1, 2). В настоящее время производится наладка и подготовка документов для аттестации. Одновременно осуществляется проектирование следующей большой установки (для испытания образцов на осевой сдвиг).

Одним из главных показателей качества ППУ изоляции является адгезия ППУ к поверхности стальной трубы и к поверхности полиэтиленовой оболочки. Адгезия ППУ должна гарантированно препятствовать проникновению влаги в зазор между стальной поверхностью трубы и ППУ, а также между полиэтиленовой поверхностью оболочки и ППУ как в процессе монтажа, так и в процессе эксплуатации трубопровода. Установки для испытаний образцов на осевой и тангенциальный сдвиги позволяют проверить величину адгезии ППУ.

Определяющими критериями при выборе серийного оборудования для испытательного центра являются технические возможности и наличие регистрации в качестве средства измерения. При этом предпочтение отдается фирмам, имеющим больший опыт и возможности его производства. Наиболее дорогостоящим из серийного испытательного оборудования являются разрывная машина и установка измерения теплопроводности.

На основании Федерального закона РФ от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» деятельность испытательных лабораторий (центров) обусловлена аккредитацией. В настоящее время основой для проведения аккредитации является ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 [6]. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Росрегулирование) от 02.11.2009 № 3940 утвержден временный порядок рассмотрения и прохождения документов при аккредитации в области подтверждения соответствия.

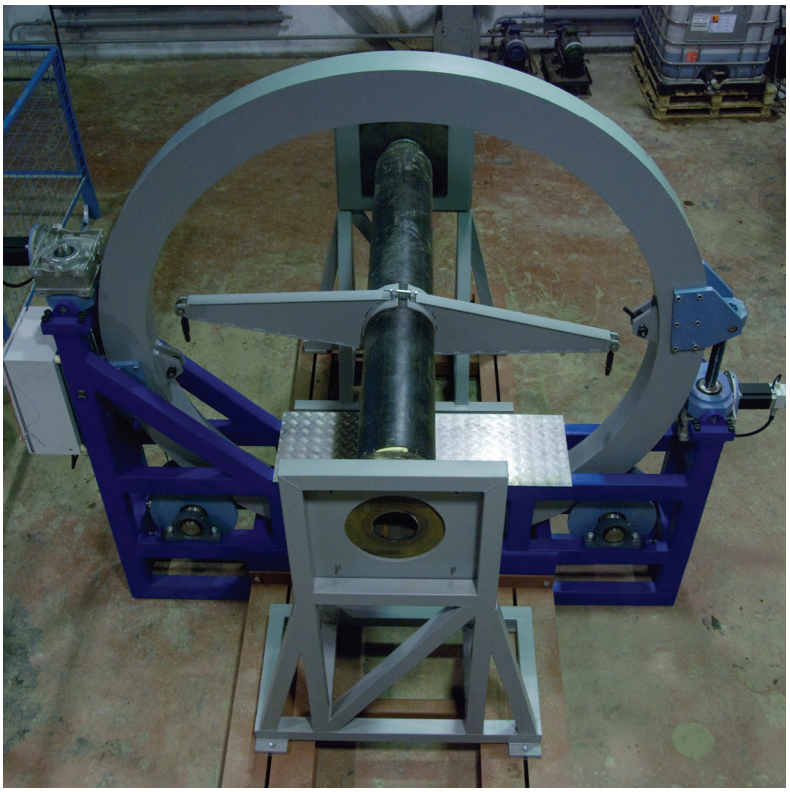


Фото 1. Установка для испытания образцов на тангенциальный сдвиг

Фото 2. Установка для испытания образцов на тангенциальный сдвиг

Мы надеемся, что создание независимого испытательного центра (например, на базе Санкт-Петербургского государственного политехнического университета), аккредитованного в области обеспечения единства измерений, в конечном итоге позволит повысить надежность тепловых сетей и довести их срок службы до нормативного (30 лет и более), что в свою очередь обеспечит надежное снабжение теплом потребителей.

Литература

1. ГОСТ 30732-2006 «Трубы и фасонные изделия стальные с тепловой изоляцией из пенополиуретана с защитной оболочкой. Технические условия».
2. DIN EN 253 «Трубы централизованного теплоснабжения – Предизолированные сварные системы трубопроводов для подземных тепловых водяных сетей – Трубы стальные в сборе с тепловой изоляцией из пенополиуретана во внешний оболочке из полиэтилена» («District heating pipes – Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks – Pipe assembly for steel service pipes, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene»), с изм. 2009.
3. DIN EN 489 «Трубы централизованного теплоснабжения – Предизолированные сварные системы трубопроводов для подземных тепловых водяных сетей – Ответвления стальные в сборе с тепловой изоляцией из пенополиуретана во внешний оболочке из полиэтилена» («District heating pipes – Preinsulated bonded pipe systems for directly buried hot water networks – Joint assembly for steel service pipes, polyurethane thermal insulation and outer casing of polyethylene»), с изм. 2009.
4. ГОСТ 18599-2001 «Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия».
5. ГОСТ 52134-2003 «Трубы напорные из термопластов и соединительные детали к ним для систем водоснабжения и отопления. Общие технические условия».
6. ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

** Петраков Геннадий Петрович, Санкт-Петербург*

Тел. раб.: +7(812)7842038; эл. почта: p@103trest.ru

Теплоизоляционные материалы в строительстве. Каменная вата или стекловолокно: сравнительный анализ

Региональный менеджер И.А. Бердюгин*,
ОАО "Каменный карьер"

Введение

Для чего нужна теплоизоляция?

С развитием цивилизации, когда борьба за тепло перестала быть настолько острой, облик зданий и технология их возведения значительно изменились. Увеличился как размер окон, так и их количество, стены и крыши стали тоньше, массивные очаги и русские печи сменились батареями центрального отопления, а на смену дерну, мху, войлоку и пакле пришли новые теплоизоляционные материалы.

Однако и в настоящее время проблема сбережения тепла остается острой. Причин тому несколько. Во-первых, чтобы обогреть сотни миллионов квадратных метров плохо утепленных жилищ, необходимо тратить поистине астрономические суммы на топливо, да и запасы ископаемого топлива не бесконечны. Во-вторых, в последние несколько десятков лет приобрело значение усилившееся антропогенное воздействие на окружающую среду.

Для того чтобы сберечь и деньги, и природу, приходится утеплять здания, вне зависимости от их назначения (жилые, административные или промышленные). Причем современное утепление, помимо своего прямого действия, дает и ряд приятных «побочных» эффектов: хорошую шумо- и виброизоляцию и прочную основу под разнообразные отделочные покрытия.

Чтобы правильно выбрать теплоизоляционный материал, нужно знать, чего мы хотим добиться, и для каких именно целей он нам нужен.

Основными типами теплоизоляционных материалов в мире является минеральная вата (каменная вата и стекловолокно) – 52%. При этом более двух третей мирового спроса на изоляцию приходится на строительство зданий [1].

Главная задача теплоизоляционного слоя – обеспечение заданных теплозащитных свойств в течение заданного времени при заданных условиях эксплуатации.

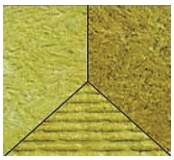
Выбор утеплителей проводится на основе сравнительного анализа их свойств. Критериями надежности утеплителей являются показатели свойств, определяющие надежность конструкции по сохранению теплозащитных свойств в условиях эксплуатации в течение заданного времени.

Целью данной статьи является сравнение каменной ваты и стекловолокна с целью правильного выбора того или иного материала для конкретных видов конструкций.

Определение понятий «каменная вата» и «стекловата»

Минеральная вата – теплоизоляционный материал на основе минеральных волокон. Минеральные волокна бывают различных видов: стекловолокно; шлаковое волокно; каменное волокно.

Стекловолокно – минеральное волокно, производимое, преимущественно, из природного песка (кварца) или вторичного стекла. Из стекловолокна изготовляется стекловата.



Каменное волокно – минеральное волокно, производимое, преимущественно, из расплавленных горных породи (в основном базальтовых). На каменном волокне основана каменная вата.

Шлаковое волокно – минеральное волокно, производимое из доменного шлака (на сегодняшний день в РФ распространено слабо, из-за низких технических и потребительских свойств).

I. Технология производства

Минеральная вата на основе стекловолокна (стекловата)

Для получения стекловолокна используют то же сырье, что и для производства обычного стекла, или отходы стекольной промышленности. Исходное сырьё для производства стекловаты – песок, сода, доломит, известняк, бура или этибор. Современные производства используют до 80% стеклобоя. Стекловата является эластичным, легким, теплым материалом.

Изготовление стекловолокна начинается с расплавления в печи песка, вторичного стекла и добавок. Расплавленное стекло за счет центробежной силы продавливается через фильеры и распыляется на миллионы нитей, в которые впрыскивается связующее.

Полученный продукт по конвейеру подается в печь полимеризации, а после нарезается до требуемых размеров готовых изделий. В некоторых случаях на изделие приклеивается покрытие (кашировочный материал).

Рисунок 1. Фрагмент волокнистой структуры стекловолокна

Рисунок 2. Процесс волокнообразования

Минеральная вата на основе базальтовых пород (каменная вата)

Минеральная вата – волокнистый теплоизоляционный материал на синтетическом связующем, получаемый из минерального сырья – силикатных расплавов горных пород. Основой для производства минеральной ваты служит базальт, который плавят в специальных печах при температуре около 1500°С. При производстве из такой расплавленной базальтовой массы формируются волокна, в которые потом добавляют синтетическое связующее, которое скрепляет эти волокна, а также дополнительные химические «присадки», с помощью которых вату пытаются наделить такими свойствами как, например, гидрофобность, плотность и т.п. В итоге мы получаем материал с открытой ячеистой структурой, который – в зависимости от модификации – способен работать при температурах до 1000°С.

II. Применение

Правильное применение качественной теплоизоляции стало насущной необходимостью. В строительстве сегодня используют современные материалы и технологии, позволяющие сберечь тепло более эффективно. Это, например, сложные трехслойные конструкции из железобетонных панелей, блоков легкого бетона, кирпича с обязательным средним слоем теплоизоляции, а также многослойные системы фасадного утепления – вентилируемые фасады и системы «мокрого» типа.

Надо сказать, что утеплить как в строящемся, так и в уже построенном здании можно буквально все, от фундамента до крыши. Однако для достижения максимальной эффективности необходимо знать некоторые технические особенности, характерные для разных сфер применения теплоизоляции.

Стены

В уже построенных домах часто применяют внутреннее утепление, хотя с точки зрения теплотехники это не самый лучший вариант. Дело в том, что в этом случае, помимо уменьшения полезной площади, влага, неизбежно образующаяся в жилом помещении, начинает конденсироваться на холодной части стены, то есть под теплоизоляцией. Итогом становится отсыревание стен, что негативно отражается на внутренней отделке помещений и здоровье находящихся в них людей. Чтобы этого избежать, необходимо использовать пароизоляцию.

Лучшим вариантом, по мнению специалистов, является фасадное утепление, позволяющее не только эффективно и надежно утеплить уже построенное здание, но и придать ему новый облик. Стоит сказать, что такое утепление является наиболее грамотным со всех точек зрения. Дело в том, что по сравнению с другими конструкциями стены имеют гораздо большую площадь, и поэтому наиболее уязвимы для холода: до 40% всех потерь тепла происходит именно через них. При этом внешние части стен здания при эксплуатации испытывают неблагоприятное воздействие перепадов температур, осадков, солнечной радиации и других вредных факторов.

Если утепление проводится снаружи, проблема конденсации влаги весьма эффективно решается использованием современных паропроницаемых утеплителей. Зона выпадения конденсата смещается в слой утеплителя, который испаряет его в окружающую среду. Это позволяет несущей стене оставаться сухой и благоприятно отражается на состоянии конструкции. Кроме того, стена внутри теплоизоляционной «шубы»

перестает подвергаться температурным перепадам, и, оставаясь постоянно нагретой изнутри, становится своеобразным аккумулятором тепла, способствуя сохранению комфортной температуры.

При монтаже теплоизоляции в фасадной системе необходимо следить, чтобы плиты плотно прилегали к изолируемой поверхности и друг к другу, заполняли весь предусмотренный для этого объем, а в местах примыкания не оставалось щелей. При многослойной изоляции желательно, чтобы каждый последующий слой перекрывал внахлест швы предыдущего слоя. Для вентилируемых фасадных систем могут применяться плиты из минеральной ваты на синтетическом связующем с плотностью 80–130 кг/м³. Такие плиты применяют в качестве однослойной теплоизоляции или в качестве наружного слоя при выполнении изоляции в два слоя, при этом внутренний слой выполняется из более легкой гидрофобизированной минплиты с плотностью 30-80 кг/м³. В вентилируемых фасадных системах широко применяются стекловолокнистые плиты. При выборе стекловолокнистых плит для утепления вентилируемых фасадов, как один из вариантов, может быть рекомендовано двухслойное утепление. Система утепления при этом получается одновременно мягкой и достаточно жесткой. Допускается также вариант использования двухслойного утепления с внутренним слоем из стекловолокнистой плиты, а наружным – из минераловатной плиты.

Кровля

Обратим внимание на крышу. Известно, что через нее уходит до 20% тепла. Утепление скатных крыш, основного конструкционного решения в частном строительстве, осложнено тем, что в кровельных конструкциях чаще всего используются горючие или неогнестойкие материалы (такие как дерево, сталь или алюминий). Следовательно, для того чтобы минимизировать последствия пожара, необходимо применять негорючую теплоизоляцию.

Также очень важно, чтобы утеплитель свободно пропускал водяные пары, но не был гигроскопичным (не набирал влагу из атмосферы), так как при увеличении влажности материала всего на 5% его теплоизоляционная способность уменьшается почти в два раза.

Учитывая приведенные требования, для утепления скатных кровель хорошо подходят легкие плиты из каменной ваты, которые устанавливают между стропилами. Между прочим, грамотное утепление скатных кровель позволяет превратить чердачное помещение в жилое (мансарду), что увеличивает полезную площадь жилья.

Заметим также, что преобладающие в городах и входящие в моду в индивидуальном строительстве плоские кровли невозможно создать без использования качественной теплоизоляции. При этом требования к ней очень жесткие, ведь в отличие от скатной крыши, плоская (с уклоном около 2%) подвергается большей нагрузке, и все ее элементы должны быть отличного качества. Так называемый «кровельный пирог» – сложная многослойная инженерная конструкция, включающая в себя основание (профнастил или плита перекрытия), пароизоляцию, предотвращающую попадание водяных паров из помещения в теплоизоляцию, теплоизоляцию и, в завершение, гидроизоляционный ковер. Теплоизоляция в этом случае должна обладать достаточной жесткостью, чтобы выдержать значительную нагрузку, не теряя при этом своих качеств.

Подвал

В последнее время подвалы все чаще используются как подсобные помещения, мастерские и пр. Сделать подвал или цокольный этаж жилым возможно только при условии достаточной толщины теплоизоляции всех контактирующих с грунтом частей здания. Если на этапе закладки фундамента не была выполнена сплошная наружная гидро- и теплоизоляция периметра здания по схеме «грунт, гидроизоляция, теплоизоляция, фундамент», добиться приемлемого микроклимата будет сложно и дорого.

Пол

Полы целесообразно утеплять и еще по одной немаловажной причине – слой теплоизоляции служит хорошим звукопоглотителем. Как известно, полы укладываются разными способами, следовательно, подбирать утеплитель следует с учетом их конструкции. При укладке полов по лагам утеплитель располагается между ними и не подвергается нагрузке, поэтому в таком случае целесообразно использовать легкие плиты из каменной ваты. Если предусматривается цементная стяжка, следует применять более жесткие теплоизоляционные материалы.

Пол и потолок в большинстве домов связаны воедино. И конечно, потолок тоже может быть утеплен. Помимо сбережения тепла, в данном случае теплоизоляция выполняет и еще одну очень важную роль – она становится отличным звукоизолятором.

III. Стоимостный расчет на примере объекта в г. Новосибирске

Рациональный выбор материала утеплителя для конкретной конструкции очень важен. Рациональность в этом случае означает, что для определенной конструкции (например, стены или крыши) вы смогли выбрать самый эффективный утеплитель – по природе материала, по его теплоизоляционным свойствам, вы рассчитали необходимую толщину слоя и затратили при всех ваших расчетах рациональное количество средств.

Рассмотрим административное здание со встроенными торговыми помещениями, индивидуальным тепловым пунктом и подземной автостоянкой по улице Владимировская в Заельцовском районе города Новосибирска.

- район по ветровому давлению: III (38 кг/м², СНиП 2.01.07-85*);
- расчетная температура воздуха наиболее холодного периода: -39°С;
- климатический район строительства: В;
- уровень ответственности здания: II;
- класс функциональной пожарной опасности: Ф 1.3;
- степень огнестойкости здания: II;
- нормативная снеговая нагрузка: 250 кг/м²;
- материал ограждающих конструкций: полнотелый кирпич на цементно-песчаном растворе М50, толщина кладки 250 мм.

Площадь утепляемой поверхности составляет 2662 м². Теплоизоляция здания выполняется в два слоя. Крепление утеплителя должно производиться по слоям, начиная с нижнего ряда. Крепление слоев плит во избежание мостиков холода необходимо производить внахлест.

В первом варианте рассчитаем стоимость утепления для данного объекта с применением минераловатного утеплителя. Применим плиты на основе базальтового волокна Rockwool ВЕНТИ БАТТС. Плиты имеют комбинированную структуру и состоят из жесткого верхнего (наружного) и более легкого нижнего (внутреннего) слоев. Размер плит 1000x600x150 мм. Их стоимость составляет 399,6[1] р/м². Стоимость на объект 1063735 руб.

Во втором варианте рассчитаем стоимость утепления для данного объекта с применением плит из стекловолокна. Для внутреннего слоя рассмотрим плиты из стекловолокна URSA GLASSWOOL П-30, размером 1250x600x100 мм и стоимостью 220 р/м². Стоимость на объект 585640 руб. Для внешнего слоя рассмотрим плиты из стекловолокна URSA GLASSWOOL Фасад (материал, специально предназначенный для применения в фасадных системах с вентилируемым воздушным зазором. Используется в качестве наружного слоя при однослойном и двухслойном утеплении многоэтажных и высотных зданий), размером 1250x600x50 мм и стоимостью 141,5* р/м². Стоимость на объект 376673руб. Итого стоимость на объект 962313 руб.

Как мы видим из расчета, дешевле утеплять данное здание плитами из стекловолокна (производство стекловаты дешевле, т. к. имеет постоянный химический состав), однако нельзя однозначно утверждать, что данный вид утепления лучше, ведь в большинстве случаев для навесных вентилируемых фасадов применяют именно каменную вату. Сомнения в надежности и устойчивости относятся как к щелочестойкости стекловолокна, так и к прочности на разрыв, недостаточность которой обусловлена самим способом изготовления плит. Кроме того, стекловолокно при 600°С уже полностью расплавится, тогда как при пожаре температура над верхним срезом оконного проема может достигать 1000 °С.

В том случае, если необходимо достичь жесткой экономии при устройстве вентилируемого фасада, допустимо использовать паропроницаемую вату из стекловолокна. Жесткие плиты из базальтового волокна, имеющие высокие прочностные и деформационные характеристики, в навесных вентилируемых фасадах использовать предпочтительнее.

IV. Анализ и обработка данных. Выявление преимуществ и недостатков, обоснованность выбора конкретного вида теплоизоляции

И каменная вата, и стекловата имеют достоинства и недостатки. Рассмотрим кратко достоинства этих материалов.

Основным свойством каменной ваты, отличающим ее от многих других ТИМ, является негорючесть в сочетании с высокой тепло- и звукоизолирующей способностью. К тому же ТИМ на основе базальтового

[1] указаны цены Новосибирских компаний, предлагающих различные виды теплоизоляции

волокна обладают устойчивостью к температурным деформациям, негигроскопичностью, химической и биологической стойкостью, экологичностью и легкостью выполнения монтажа.

По требованиям пожарной безопасности изделия из каменной ваты относятся к классу негорючих материалов (НГ). Более того, они эффективно препятствуют распространению пламени и применяются в качестве противопожарной изоляции и огнезащиты. Теплопроводность изделий складывается из трех составляющих: теплопроводности волокон, теплопроводности воздушной среды и влаги, находящихся между волокнами, а также передачи тепла лучеиспусканием.

Важное свойство материалов из каменной ваты – ничтожно малая усадка (в том числе термическая) и сохранение своих геометрических размеров в течение всего периода эксплуатации здания. Это гарантирует отсутствие «мостиков холода», которые в противном случае неизбежно возникли бы на стыках изоляционных плит.

Каменная вата обладает чрезвычайно низкой гигроскопичностью: содержание влаги в изделиях из нее при нормальных условиях эксплуатации составляет 0,5% по объему. Однако хранение на строительной площадке и монтаж теплоизоляции часто происходят во влажных условиях (например, во время дождя). Чтобы минимизировать водопоглощение, вату, как правило, пропитывают специальными водоотталкивающими составами (кремний-органическими соединениями или специальными маслами).

Изоляционные материалы отличаются высокой химической стойкостью. Более того, каменная вата является химически пассивной средой и не вызывает коррозию контактирующих с ней металлов. Теплоизоляционные и механические свойства изделий сохраняются на первоначальном уровне в течение десятков лет. Применение ваты из базальтового волокна позволяет обеспечить не только тепло-, но и звукоизоляцию стен. Значительно снижается риск возникновения стоячих звуковых волн внутри ограждающей конструкции, тем самым, увеличивается изоляция от воздушного шума. Звукопоглощающие свойства материала увеличивают затухание акустических волн и значительно снижают звуковой уровень помещения.

По свойствам стекловата несколько отличается от каменной. Отличия обусловлены, в частности, тем, что волокна стеклянной ваты имеют большую толщину (16-20 мкм) и в 2-3 раза большую длину. Благодаря этому изделия из стеклянной ваты обладают повышенной упругостью и прочностью. Стеклянная вата практически не содержит неволокнистых включений и обладает высокой вибростойкостью.

Теплопроводность находится в пределах 0,030...0,052 Вт/м·К.

Теплоизоляционные материалы из стекловолокна – хорошие звукоизоляторы, так как имеют волокнистую структуру и хорошо поглощают звук. Обладают высокой химической стойкостью, не содержат коррозионных агентов, негигроскопичны. Благодаря противогнилостной обработке и отсутствию запаха предотвращается появление вредителей и плесени в строительных конструкциях.

Этот негорючий материал не выделяет токсичные и вредные вещества под воздействием огня. Стекловатные изделия широко применяются для тепловой изоляции строительных конструкций. Стекловолокно – настолько мягкий и эластичный материал, что изделиями из него можно облицовывать неровные поверхности, а также применять в конструкциях любой формы и конфигурации. При этом теплоизоляционные изделия из стекловаты отличаются стабильностью формы, выдерживают старение, не подвергаясь деформации.

Сравнение основных параметров двух материалов приведено в таблице 1 [3, 5].

Таблица 1

	Плотность, кг/м^3	**Сжимаемость, %**	**Теплопроводность, Вт/ м°С**	**Температуростойкость, °С**	**Паропроницаемость, мг/(м чПа)**
Каменная вата	30-90	30	0,033-0,044	1000	0,30
Стекловолокно	11-30	90	0,033-0,044	450	0,55

Материалы из стекловолокна, используемые для утепления конструкций, обладают плотностью меньшей, чем у материалов из каменной ваты, и создают меньшие нагрузки на строительные конструкции. Их большая сжимаемость, большая гибкость и упругость обеспечивают более высокое качество изоляции неровных поверхностей и сложных по геометрии конструкций.

Теплопроводность материалов из стекловолокна и каменной ваты не зависит от природы материала и практически одинакова. Наименьшие значения теплопроводности имеют материалы из стекловолокна высокой плотности, отличающиеся высокой ценой.

Паропроницаемость стекловолокна выше, чем у каменной ваты.

Материалы из стекловолокна плотностью 11-30 кг/м^3 и каменной ваты – негорючие материалы (НГ) и могут применяться в строительных конструкциях без ограничений. Стекловолокно плотностью более 30 кг/м^3 имеет группу горючести Г1, что в ряде случаев требует выполнения специальных конструктивных мероприятий для повышения класса пожарной опасности. Температуростойкость стеклянной ваты обычного состава существенно ниже, чем у каменной ваты.

В силу более низкой себестоимости производства стекловата стоит дешевле. Она применяется в тех элементах зданий, где требуется обеспечить эффективную теплоизоляцию без увеличения веса конструкции. При усилении теплоизоляции наружных стен кирпичного здания применимы варианты наружного и внутреннего утепления. Эти материалы незаменимы и в каркасном строительстве, где мягкая стекловата, «втиснутая» между щитами, заполняет все щели.

Специфика условий эксплуатации определяет состав технических требований к применяемым материалам. Например, каменноватные плиты повышенной жесткости, используемые в качестве теплоизоляционного слоя в покрытиях с рулонной кровлей, при эксплуатации подвергаются сжимающим нагрузкам, поэтому для них одним из основных показателей является прочность на сжатие при десятипроцентной деформации.

Заключение

Теплоизоляционные изделия из каменной ваты, также как изделия из стекловолокна, могут применяться в следующих многослойных теплоизоляционных системах:

- в системах наружного утепления «мокрого» типа;
- в качестве теплоизоляционного слоя в навесных вентилируемых фасадах;
- в системах с утеплителем с внутренней стороны ограждающей конструкции;
- в системах с утеплителем внутри ограждающей конструкции (слоистая кладка, трехслойные бетонные или железобетонные панели, трехслойные с металлическими обшивками).

Изоляция ограждающих конструкций из минеральной ваты включает в себя как мягкие плиты и маты для применения в каркасных конструкциях, так и жесткие и полужесткие плиты, используемые, например, в фасадных конструкциях, где изоляция находится под воздействием нагрузок.

Необходимо отметить, что жесткие утеплители из каменной ваты предназначены для применения на объектах, где изоляция подвергается нагрузке либо во время выполнения монтажных работ, либо при эксплуатации. Прочность на сжатие жестких изделий зависит от плотности теплоизоляционного материала и содержания связующего.

Особенностью панелей из стекловолокна является возможность производить гнутые элементы (например, рельефные потолки). Материалы из стекловолокна выпускаются как в рулонах, так и в виде плит с высокой жесткостью. Жесткие плиты, облицованные стекловойлоком, являются хорошей ветрозащитой. Основное применение таких плит – это изоляция стен под штукатурку в вентилируемых фасадах.

Выбор того или иного вида утепления зависит от области применения и технических характеристик.

Литература

1. Рахимов Р.З. Современные теплоизоляционные материалы. Казань, 2006.
2. Фасадные системы для сибирского климата / Под ред. Овсянникова С.Н. Томск, 2006.
3. Коледин В.В. Минераловатные теплоизоляционные материалы. Новосибирск, 2002.
4. Техника и технология производства теплоизоляционных материалов из минерального сырья: докл. V Всерос. науч.-практ. конф., 6-7 июня 2005 г. (г. Белокуриха Алт. края) // Федер. науч.-производств. центр «Алтай», Ин-т проблем хим.-энергет. технологий, Ассоц. разработчиков технологий и производителей изоляц. материалов из минер. сырья «Росминизоляция».
5. Данные производителей теплоизоляционных материалов (Группа компаний Технониколь, ЗАО «Минеральная вата»– Rockwool, ООО «Урса-Евразия»).

Илья Андреевич Бердюгин, г. Новосибирск

Тел. раб.: +7 (383) 211-93-98; эл. почта: anberd@mail.ru

Стекломагнезит – новый облицовочный материал

Инженер Н.В. Ажикина*,
ГОУ Ижевский Государственный Технический Университет

В последние несколько лет до наступления кризиса в России наблюдался существенный подъём строительной отрасли. Значительными темпами велось жилищное строительство, в том числе и малоэтажная застройка. Одной из побуждающих причин этого роста стала приоритетная национальная программа «Доступное и комфортное жилье». Развивалось и строительство объектов малого и среднего бизнеса: здания для торговли, отдыха, занятий спортом, малого предпринимательства и т.д. Однако даже сейчас, при существенном спаде строительства, застройщики предъявляют все более высокие требования по дизайну, комфорту, безопасности, экологичности, энергоэффективности проектируемых зданий. Кризис рано или поздно закончится, и строительный бум не заставит себя долго ждать. В этих условиях появляется острая необходимость и высокий спрос на новые строительные материалы, которые позволят решать встающие перед отраслью задачи. Одному из таких перспективных для рынка строительных материалов РФ – стекломагниевому листу (СМЛ) – и посвящена настоящая статья.

СМЛ: описание, состав, технология производства

Стекломагниевый лист (СМЛ, glass magnesium board) – это листовой отделочный материал, который позиционируется в основном как товар-заменитель гипсокартона, гипсоволокна или OSB (Oriented Strand Board – расшифровывается как плита с ориентированной плоской стружкой). Основными составляющими данного материала являются: оксид магния (MgO) 40-50%, хлорид магния ($MgCl_2$, входит в состав бишофита) 30-35%, перлит (SiO_2, вулканическое стекло, в данном материале применяется как звукоизоляционный материал) 3-8%, стружки (опилки) до 15%, вода, стекловолокно, полипропиленовая ткань.

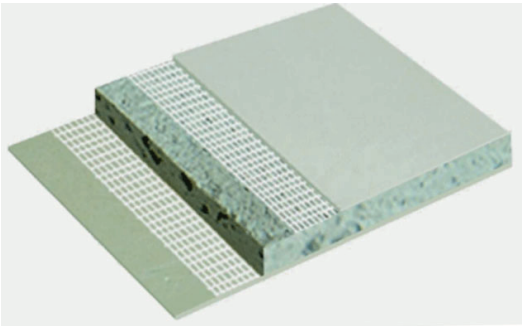


Рисунок 1. Структура СМЛ

Технологический процесс производства СМЛ проходит следующим образом. Окись магния вымачивается в воде. Затем исходные компоненты (сырьё), а также воду в определённых пропорциях тщательно смешивают (без подогрева). Полученную клейкую массу помещают в подвижной формовочный бункер, где установлена специальная форма, задающая необходимую толщину листа. На ровную поверхность накладывают слой стеклоткани и слой полипропилена. Затем с помощью подвижного бункера поверх этих слоёв через установленную форму наносится клейкая масса, которая раскатывается в лист. Сверху накладывается слой полипропилена и слой стеклоткани. Всю поверхность прокатывают механическим валиком для склеивания всех слоёв. Затем автоматической машиной для резки производится раскрой полученного полотна на листы необходимого размера, которые обсыпают мелкими древесными опилками во избежание склеивания.

Далее полуфабрикат (нарезанные листы) вымачивается в воде и поступает на сушку (температура около 30^0C), где происходит процесс отвердевания. Окончательная обработка состоит из шлифования обратной поверхности и формовки торцов листа.

Технические характеристики СМЛ:

- цвет – белый, серый, светло-желтый;
- размеры, мм – 1200x2400, 1220x2440, 1220x2500, 1200x2500;
- толщина, мм – 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20;
- плотность, г/см3 – 0,7 – 1,1;
- группа горючести – НГ
- естественная влажность, % – 9 – 11;
- прочность на изгиб в сухом состоянии, МПа – 6 – 20;
- прочность на изгиб во влажном состоянии, МПа – 5 – 25;
- набухание от влаги, % – не более 0,6;
- водопоглощение по массе, % – 20 – 40;
- усадка при высыхании, % – не более 0,3;
- теплопроводность, Вт/м^{0}С – 0,2 – 0,5;
- индекс звукоизоляции воздушного шума , дБ – 46;
- морозоустойчивость, циклов – от 20 до 50;
- ударная прочность, кДж/к.кв. – 1,5 – 3,5;
- огнеупорность – при толщине листа 6 мм способен удерживать огонь в течение 2 часов, выдерживает нагрев до 1200 ^{0}С .

При производстве на качество СМЛ влияют следующие технологические факторы.

1. Качество стекловолокна: использование стекловолокна хорошего качества обеспечивает гибкость и прочность листа.
2. Количество слоёв стекловолокна: чем больше слоёв, тем прочнее лист. Технология допускает использование 3-4 слоёв.
3. Добавление минеральной ваты: это приводит к снижению плотности материала.
4. Процентное содержание оксида магния: чем выше содержание оксида магния (до 95%), тем прочнее лист.
5. Использование древесных опилок: влияет на снижение плотности и прочности листа.
6. Соблюдение технологических режимов производства: их нарушение негативно сказывается на цвете, прочности и долговечности материала.
7. Качество пресс-форм: от них зависит качество поверхности.

В настоящее время СМЛ производится в промышленных масштабах только в Китае – 95% и Корее – 5%. Оборудование для производства СМЛ также выпускается в Китае.

По оценкам экспертов [4], материал действительно обладает всеми перечисленными характеристиками, однако имеет ряд недостатков. Во-первых, он более хрупкий, чем гипсоволокнистый лист (ГВЛ). Во-вторых, китайцы производят листы разного качества. Основной характеристикой при этом является плотность листа, или содержание магнезита. Чем ниже плотность материала, тем он более рыхлый, больше впитывает в себя влаги, легко ломается как при перевозке в паллетах, так и при переноске вручную. Его сложно монтировать. Такой материал обладает очень сильной адгезией, но впитывает много шпатлёвки. При этом, несмотря на низкую цену СМЛ, увеличиваются затраты на сопутствующие материалы, плюс получается много боя самого листа. При очень высокой плотности материал теряет адгезию, хуже гнётся, на него не клеятся отделочные материалы.

Традиционно различают три категории стекломагниевого листа СМЛ (Премиум, Стандарт, Эконом), каждая из которых имеет свои свойства, характеристики и области применения. Однако основная проблема заключается в том, что даже под маркой «Премиум» в России может продаваться материал, абсолютно разный по характеристикам.

Свойства материала и область его применения

Развитие технологий приводит к появлению на рынке новых строительных материалов, сочетающих в себе набор качеств, присущих нескольким традиционным продуктам. Так и СМЛ сумели собрать в себе характеристики, присущие гипсокартонному и гипсоволоконному листу (ГКЛ и ГВЛ), древесноволокнистой плите (ДВП) и другим отделочным материалам.

Основные свойства СМЛ:

- экологичность (не содержит смол в качестве связующих);
- механическая прочность;
- огнестойкость;
- абсолютная влагостойкость;
- высокая шумоизоляция;
- хорошая адгезия к любым отделочным материалам;
- низкое водопоглощение;
- стойкость к воздействию окружающей среды.

Материал экологически чистый, не содержит вредных веществ и асбеста, не выделяет токсических веществ даже при нагревании. Лицевая (гладкая) поверхность листов предназначена для окрашивания, наклеивания обоев, ламинирования и нанесения различных видов текстур без предварительного, окончательного шпатлевания и грунтования всей поверхности материала. Тыльная (шероховатая) поверхность листов предназначена для прочной сцепки при приклеивании штучных облицовочных и декоративных материалов (керамической или кафельной плитки, шпона и т. п.), либо самого материала на стены и пол, склейке листов между собой. Немаловажным является и тот факт, что при внутренней отделке СМЛ может монтироваться на крепёжную систему как из металла, так и из дерева традиционным способом (шурупы, гвозди). А также непосредственно на ограждающую конструкцию при помощи клея. Технология изготовления и состав материала придают ему такие качества, как гибкость, прочность, огнеупорность и влагостойкость. Благодаря армирующей стеклотканной сетке СМЛ может гнуться с радиусом кривизны до 3 метров. Это качество позволяет применять его на криволинейных поверхностях и понижает возможность перелома листа при монтаже и переносе. СМЛ обладает высокой прочностью, твёрдостью и пожарно-техническими характеристиками. Интересная особенность СМЛ-Премиум: при производстве листа можно модифицировать его показатели для решения различных задач при требуемых работах. Можно увеличить его

плотность до уровня керамогранита или уменьшить до показателей гипсоволокнистых плит. Можно производить его в любой цветовой гамме (белым, желтым, красным и т.д.).

Длительное время для строительства зданий (малоэтажных) использовалась опалубка, которую собирали на заводах и далее привозили на непосредственное место строительства. Данный способ является достаточно неудобным как по стоимости, так и с точки зрения времени, затраченного на производство опалубки и ее элементов. Возможности отдельно взятого сборочного цеха могут не подойти к проектным данным объекта, где будет производиться строительство. И если размеры изготовленной опалубки не совпадут с указанными в чертежах, то появится множество проблем с совмещением и отделкой стыков.

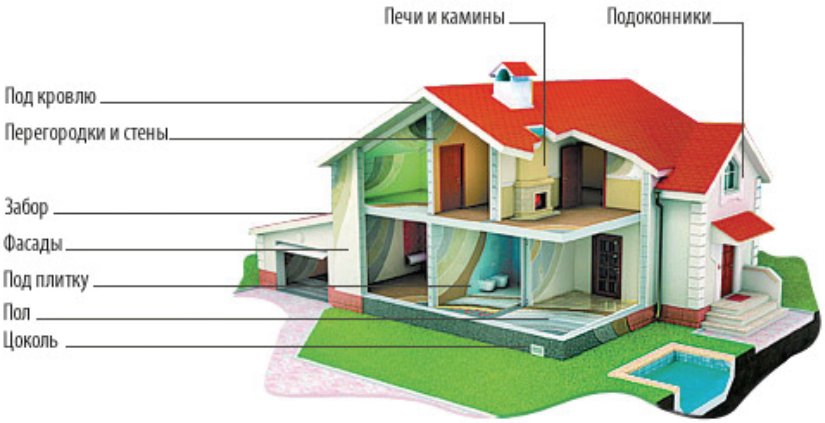


Рисунок 2. Применение СМЛ в жилых помещениях

Потому в строительстве все чаще используется несъемная опалубка из СМЛ – стекломагниевых листов, с применением которой будет легко избежать вышеперечисленных неудобств. Несъемная опалубка из СМЛ дает множество преимуществ по сравнению с остальными методами. Опалубка стен и перекрытий с применением СМЛ дает удобство сборки прямо на территории строительства. Таким образом, возведение несъемной опалубки обходится значительно дешевле.

Несъемная опалубка с применением СМЛ

Один из видов данной технологии состоит в использовании внутренней облицовки из СМЛ (стекломагниевый лист) толщиной 8-10 мм, наружной (как несъемная опалубка) – из кирпича. Установленная опалубка заливается фибропенобетоном или пенополистиролбетоном с армирующими добавками, что сильно повышает прочность, не снижая теплотехнических свойств фибропенобетона и пенополистеролбетона.

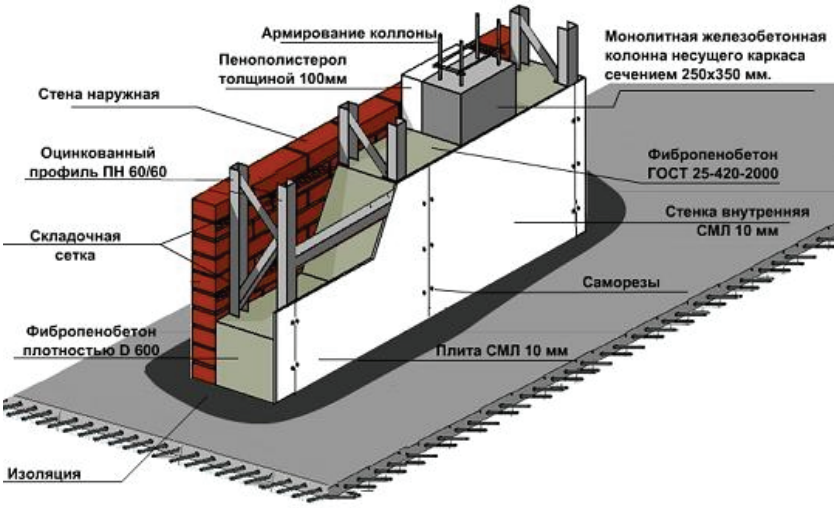


Рисунок 3. Разрез стены каркасно-монолитного строения. Облицовочный кирпич и плита СМЛ как несъемная опалубка

Данный вариант удобен и выгоден тем, что внутренняя отделка сводится к минимальным затратам, а наружная отделка не требуется.

Монолитные конструкции с использованием СМЛ

Устройство наружных стен, перегородок с несъемной опалубкой, (средняя плотность 300-400 кг/м3)

Возможности применения:

- опалубка стен (стеновая опалубка);
- опалубка колонн;
- опалубка фундаментов;
- опалубка перекрытия.

Домостроительную технологию несъемной опалубки с применением СМЛ листов можно отнести к прогрессивной в области малоэтажного строительства. Данная технология позволяет возводить здания достаточно быстрыми темпами. Например, бригада из 3-4 человек производит монтаж опалубки первого этажа строения 10*10 м за 3-5 дней. Настоящий метод позволяет отказаться от использования тяжелой строительной техники, что ощутимо сокращает стоимость строительства. Технология несъемной опалубки из СМЛ делает доступным быструю заливку перекрытий «по месту».

Отделка фасада листами СМЛ

Настоящая технология разрешает использовать различные варианты внешней отделки стен: сайдинг из винила или металла, полимерные штукатурки, а также облицовочные материалы: плитка, кирпич, камень.

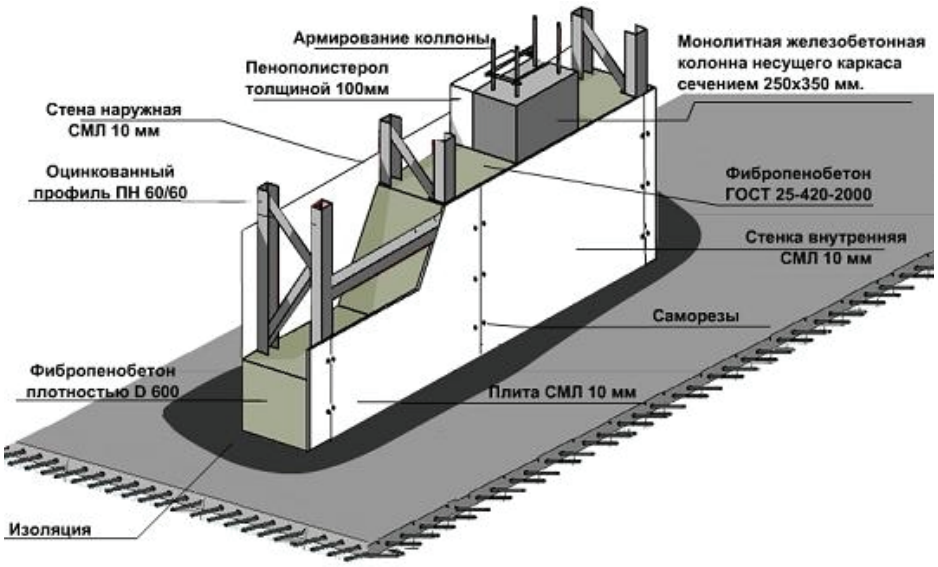


Рисунок 4. Разрез стены каркасно-монолитного строения. Наружная и внутренняя стена. Плита СМЛ как несъемная опалубка

Эти материалы можно разбить по способам крепления к стене:

1) крепящиеся механическим способом;
2) крепящиеся на цементно-клеевую основу.

Технология возведения опалубки из СМЛ позволяет получить абсолютно ровные стены. Поэтому любой вид отделки не требует предварительного выравнивания поверхности, будь то применение плитки, штукатурки или обоев. Это значительно экономит материалы, усилия и время.

Внутренняя отделка листами СМЛ

В период черновой отделки также основным материалом может послужить СМЛ. Он делает стены идеально ровными, обеспечивая также необходимый уровень пожарной безопасности. Уникальные свойства материала «магнезит» создают приятный микроклимат в помещении. Монтаж труб отопления, скрытой проводки, водоснабжения производится в специальные каналы, выполненные термической резкой, что очень упрощает работу.

Таблица 1. Сравнительный анализ СМЛ и товаров-заменителей по основным показателям

Материал	Область применения	Объем рынка в 2007 году, млн. долл.	Средняя оптовая стоимость (при толщине 10мм), руб/м^2 (данные на начало 2009 г.)
ГКЛ	Внутренняя отделка	500 (2006 г.)	75-100
ГВЛ	Внутренняя отделка	Данных нет	115
OSB	Внешняя отделка	250	От 150
ЦСП	Внутренняя/внешняя отделка	20 (2006 г.)	От 170-190
СМЛ	Внутренняя/внешняя отделка	23	148 (Москва)

Большие возможности открывает применение декоративных панелей СМЛ, которые представляют собой листы СМЛ, дополнительно окрашенные или оклеенные специальным пластиком. Такие декоративные панели, как правило, используют в качестве итогового покрытия стен при внутренней отделке помещений здания. Еще одним вариантом использования декоративных панелей является создание откосов или перегородок. Перегородки из магнезитовых плит эффективно противостоят случайным нагрузкам (удары твердого или мягкого тела и пр.), обеспечивают высокий уровень звукоизоляции (звукоизоляция плиты 8мм – 29dB, в составе сборных конструкций плита придает стенам звукопоглощение до 46dB) [1]. Использование декоративных панелей на основе СМЛ значительно сокращает время на отделку. Такие декоративные панели могут сохранять свой внешний вид до 50 лет. Даже жесткие условия эксплуатации не имеют достаточно значимого влияния на износ этих панелей. Пожарные и санитарно-гигиенические качества декоративных панелей дают возможность использовать их повсеместно. Например, не только в торгово-офисных зданиях, но и в лечебно-профилактических и санаторно-курортных учреждениях. Одним из ярко выраженных достоинств декоративных панелей на основе СМЛ является возможность их использования в помещениях с высокой влажностью, а также высокой проходимостью. Стоимость декоративных панелей СМЛ при этом сравнительно невысока (табл. 1).

Преимущества по сравнению с материалами-заменителями

Благодаря своим свойствам СМЛ могут рассматриваться в качестве альтернативы гипсокартону (ГКЛ, ГВЛ), древесным плитам (ДСП, ДВП, OSB) и ЦСП. (табл. 2) Несравненно лучшие прочность и стойкость к воздействию окружающей среды по сравнению с гипсокартоном позволяют использовать материал для наружной отделки. Благодаря своей высокой прочности, превосходящей ГКЛ в 3 раза, СМЛ толщиной 6 мм удобен в использовании там, где применяют ГКЛ 8-10мм (потолки) – это способствует значительному уменьшению веса конструкции, более быстрому монтажу. Также преимуществом СМЛ с высоким содержанием магнезита перед ГКЛ является его способность сохранять форму во влажном состоянии, что дает возможность применять его в помещениях с повышенной влажностью: душевые, сауны, бассейны.

Таблица 2. Сравнительные характеристики строительных отделочных материалов

Свойства	ЦСП	OSB	Аквапанель KNAUF	Гипсокартонные листы	Стекломагниевые листы
Огнеупорность	данных нет	Трудновоспла-меняемый материал Класс огнеупорности-С	Опытным путем подтверждено, что панели типа «Base» негорючий материал.	Не горючие. Если структура не порошковая, то являются огнеупорными.	Не горючие, структура стабильна, являются огнеупорными
Влагостой-кость	Разбухание по толщине за 24 часа не более 2%; водопоглощение за 24 часа не более 16%	Набухание по толщине в течение 24 часов от 12%	Влагостойкость 100%	При попадании влаги с воздухом между бумагой и листом лист теряет структуру, становится рыхлым, начинает отставать краска и другие покрытия.	После пребывания в воде в течение 100 дней внешний вид листов не изменяется.
Долговечность	Данных нет	При правильном проектировании, строительстве и эксплуатации срок службы не ограничен	не разрушается и не крошится	Внутри помещения легко стареет, снаружи стареет ещё быстрее. Короткий срок использования.	Не стареет ни внутри помещений, ни снаружи. Срок использования до 15 лет.
Возможность использования обойного ножа	нельзя	нельзя	Нельзя	Можно резать только по прямой	Можно вырезать любые формы.
Возможность использования пневмописто-лета	можно	можно	В целях экономии рабочей силы и времени можно использовать пневмопистолет.	Нельзя использовать пневмопистолет, только шурупы и саморезы.	В целях экономии рабочей силы и времени можно использовать пневмопистолет, электродрель.
Покраска	Правильное окрашивание: грунтование, промежуточная окраска, чистовая окраска	OSB может быть окрашена любой высококачествен ной краской, рекомендуемой для дерева, после грунтовки и шпатлевки	Перед нанесением краски панель по всей поверхности покрывается слоем клеящего и армирующего состава толщиной примерно 5 мм.	Масляная краска наносится на бумажный слой, предохраняет от разрушения. Хороший эффект.	Можно сразу красить масляной краской. Превосходный эффект от матовой краски.
Непосредст-венное наклеивание	Можно склеивать различные детали из ЦСП друг с другом и другими материалами.	Панели OSB склеиваются любым клеем, рекомендуемым для дерева.	Панели склеиваются между собой клеем «АКВАПАНЕЛЬ – клей для швов»	Клеить на бумажный слои гипсокартонного листа с целью предохранения от разрушения. Хороший эффект.	Можно клеить без обработки.
Возможность непосредст-венного наложения керамической плитки	В сухих помещениях возможно. Во влажных – после пропитки и нанесения гидроизоляционной мастики.	возможно	Возможно на аквапанели внутренние	Невозможно	Возможно. Очень хорошо подходит для общественных помещений.

Свойства	ЦСП	OSB	Аквапанель KNAUF	Гипсокартонные листы	Стекломагние-вые листы
Выделение пыли	При обработке плит ЦСП выделяется большое количество пыли	отсутствует	отсутствует	При разрушении предохраняющего бумажного слоя загрязняет воздух крошечной пылью.	Не является источником пыли.
Биологическая опасность	нет	нет	нет	На бумажном слое может возникнуть грибок или плесень, не соответствующие гигиене.	Абсолютно безвредны для здоровья.
Экологичность	Состоит из естественных компонентов	При изготовлении используются формальдегиды	Не загрязняет воздух	Пыль от листов загрязняет воздух, опасна для дыхательных органов.	Не загрязняет воздух.

Российский рынок СМЛ и его перспективы

В России СМЛ появился несколько лет назад. В настоящее время российский рынок полностью обеспечивается поставками из Китая и Кореи. Технология использования СМЛ пока не нашла широкого признания в строительной индустрии. По оценкам экспертов, материал имеет большие перспективы в России, однако существует также ряд препятствий для его широкого распространения.

В первую очередь, это связано с качеством продукции. Вследствие того, что в последнее время интерес к СМЛ резко увеличился, многие компании, работающие на рынке, начали завозить в Россию продукцию очень плохого качества и продавать ее как СМЛ высшего класса, желая получить сиюминутную прибыль. В результате, репутация материала была подорвана. Сейчас многие отказываются с ним работать, думая, что весь СМЛ такой же плохой, как тот, который они купили по дешевке.

Собственного производства стекломагниевых листов в России пока нет. Однако это, вероятнее всего, является лишь вопросом времени. По данным предварительного анализа, в нашей стране есть все условия для этого, а именно, возможность работать на местном сырье. При этом стоит отметить, что на данный момент существует и ряд проблем, связанных с открытием производства СМЛ в России: прежде всего, это высокая стоимость отечественного сырья и особенности технологии (процесс сушки СМЛ в России может быть осуществлен только в закрытых помещениях, а не естественным способом, как в Китае. Это приводит к увеличению затрат на производство материала и, как следствие, к его удорожанию).

В общем случае, производство СМЛ не требует больших инвестиций и имеет относительно несложную технологию (схожую с производством гипсокартона). Ориентировочные вложения в организацию производства составят около 2-3 млн. руб., окупаемость проекта – 1-2 года. Открытие собственного производства на территории России (снижение стоимости материала на 15% таможенной пошлины), при условии доступности всех необходимых видов сырья и отработанной технологии производства, однозначно будет способствовать лидерству на формирующемся рынке.

Заключение

Сегодня СМЛ не так широко используется в строительстве, как ГВЛ, ГКЛ, OSB, ДСП. Ему еще предстоит завоевать Российский рынок. И у него есть для этого все необходимые качества. По оценкам экспертов, материал имеет большие перспективы в России[2] и ряде других стран, однако на данный момент следует серьезнее относиться, прежде всего, к вопросам, связанным с контролем качества продукции.

Также для продвижения СМЛ необходимо широкое, объективное, постоянное информационное сопровождение и инвестиции. И результат не заставит себя долго ждать.

Литература

1. Магнезитовая плита // http://kenigstroy.ru/magnezit.
2. Стекломагниевый лист (СМЛ) в Беларуси // http://www.magnezit.by/index.html.
3. СМЛ-Премиум // http://www.interpan.ru/production/cml.html.
4. Рынок стекломагниевых листов. Подготовлено Research.Techart специально для «Ваш Дом» // http://www.vashdom.ru/articles/research_4.htm.
5. Что такое стекломагнезитовый лист? // http://www.regionsnab.net/products/descriptions.
6. Стекломагниевый лист // http://rbmco.ru/rsml.html.

Надежда Владимировна Ажикина, г. Ижевск;
Эл. почта: NadezhdaAzhikina@yandex.ru

Три метода определения необходимой звукоизоляции окон: плюсы и минусы

Памяти д.т.н. профессора Георгия Львовича Осипова, знаменитого акустика России

Д.т.н. профессор И.И. Боголепов*,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет;
магистр Н.П. Столярова,
ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Мероприятия по защите людей от шума в здании состоят главным образом в обеспечении необходимой звукоизоляции. Важность вопроса обеспечения звукоизоляции окон жилых и общественных зданий заключается в том, что ею полностью определяется звукоизоляция наружных стен этих зданий от внешнего шума. Однако требуемую звукоизоляцию окон разные авторы предлагают определять разными методами, а именно: методом нормируемых параметров, методом расчета ожидаемой шумности и приближенным методом – причудливой смесью двух предыдущих. Статья посвящена анализу каждого из этих методов: инженерной сути, рациональной области применения, плюсам и минусам.

Метод нормируемых параметров

Метод нормируемых параметров разработан в России группой ведущих строительных акустиков под руководством д.т.н. профессора Георгия Львовича Осипова [1, 2, 3]. По этому методу величина нормируемой звукоизоляции окон, витрин и других видов остекления (далее «окон») определяется следующим образом. Нормируемым параметром звукоизоляции наружных ограждающих конструкций окон здесь является звукоизоляция $R_{A\,тран}$, дБА, представляющая собой изоляцию внешнего шума, производимого потоком городского транспорта. Нормативные значения $R^{H}_{A\,тран}$ для различных помещений приведены в таблице 1 в зависимости от уровня транспортного шума у фасада здания. Для промежуточных значений расчетных уровней требуемую величину $R^{H}_{A\,тран}$ следует определять интерполяцией.

Таблица 1. Нормативные требования к звукоизоляции окон

Назначение помещений	Требуемые значения $R^{H}_{A\,тран}$, дБА, при эквивалентных уровнях звука у фасада здания при наиболее интенсивном движении транспорта (в дневное время, час «пик») $L_{A_{экв}}$, дБА				
	60	65	70	75	80
1. Палаты больниц, санаториев, кабинеты медицинских учреждений	15	20	25	30	35
2. Жилые комнаты квартир в домах:					
Категории «А»	15	20	25	30	35
категорий «Б» и «В»	-	15	20	25	30
3. Жилые комнаты общежитий	-	-	15	20	25
4. Номера гостиниц:					
категории «А»	15	20	25	30	35
«Б»	-	15	20	25	30
«В»	-	-	15	20	25
5. Жилые помещения домов отдыха, домов-интернатов для инвалидов	15	20	25	30	35
6. Рабочие комнаты, кабинеты в административных зданиях и офисах:					
категории «А»	-	-	15	20	25
категорий «Б» и «В»	-	-	-	15	20

Исходная фактическая звукоизоляция окна $R_{A\,тран}$, дБА, определяется на основании рассчитанной [1, 2] или измеренной [8, 9] частотной характеристики звукоизоляции данного окна R_i, дБ, в третьоктавных полосах частот «i». Расчет звукоизоляции окна R_i производит проектант здания, измеренные значения R_i

предоставляет проектанту здания фирма-изготовитель окна по результатам лабораторных испытаний. Предпочтение следует отдавать измеренным значениям.

Звукоизоляция $R_{Атран}$ определяется с помощью эталонного спектра шума потока городского транспорта L_i, дБ, для диапазона средних частот третьоктавных полос: от i=100 Гц до i=3150 Гц. Уровни эталонного спектра, скорректированные по кривой частотной коррекции «А» для шума с уровнем 75 дБА, приведены в таблице 2

Таблица 2. Оценочная кривая скорректированного уровня звукового давления эталонного спектра

Наименование показателя	Средние частоты третьоктавных полос, Гц															
	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Скорректированный уровень звукового давления эталонного спектра L_i, дБ	55	55	57	59	60	61	62	63	64	66	67	66	65	64	62	60

Для определения величины звукоизоляции окна $R_{Атран}$ по известной частотной характеристике звукоизоляции данного окна R_i следует в каждой третьоктавной полосе частот из уровня эталонного спектра L_i таблицы 2 вычесть величину изоляции воздушного шума R_i данной конструкции окна. Полученные величины уровней следует сложить энергетически и результат сложения вычесть из уровня эталонного шума, равного 75 дБА. Величину звукоизоляции окна $R_{Атран}$, дБА, определяют по формуле

$$R_{Атран} = 75 - 10\lg \sum_{i=1}^{16} 10^{0,1(L_i - R_i)} \quad , (1)$$

где L_i – скорректированные по кривой частотной коррекции «А» уровни звукового давления эталонного спектра в i-й третьоктавной полосе частот, дБ; R_i – изоляция воздушного шума данной конструкции окна в i-й третьоктавной полосе частот, дБ.

Нормативные значения $R^{H}_{Атран}$, дБА, определяются по таблице 1 при эквивалентных уровнях звука у фасада здания при наиболее интенсивном движении транспорта (в дневное время, час «пик») $L_{A_{ЭКВ}}$, дБА.

Величина $L_{A_{ЭКВ}}$ может быть или измерена [10], или рассчитана [7].

Таблица 3. Звукоизоляция типовых шумозащитных окон и витражей

№ п.п.	Конструкция герметичных окон	Формула остекления $s_1 + l + s_2$ (толщина силикатных стекол и воздушного промежутка между ними в мм)	$R_{Атран}$ дБА
1	Окно – двустенный стеклопакет	3 + 12 + 3	25
2	Окно – двустенный стеклопакет	4 + 16 + 4	27
3	Окно – двустенный стеклопакет	4 + 56 + 4	28
4	Окно – двустенный стеклопакет	4 + 91 + 4	31
5	Окно – двустенный стеклопакет	3 + 90 + 6	32
6	Металлический двустенный витраж	4 + 100 + 4	33
7	Металлический двустенный витраж	4 + 200 + 4	35
8	Металлический двустенный витраж	8 + 100 + 8	37
9	Металлический двустенный витраж	8 + 200 + 8	39
10	Металлический двустенный витраж	8 + 400 + 8	41

Примечание: подобная таблица из 31-го пункта содержится, например, в [7], а более подробные данные – в Интернете у фирм-изготовителей.

Суть метода нормируемых параметров заключается в том, что нормируется не шум в помещении, а значения звукоизоляции окна. Фактические значения указанного параметра $R_{Атран}$ для конкретных окон должны быть равны или больше его нормативного значения $R^{H}_{Атран}$. В результате по величине $R_{Атран}$, дБА, согласно формуле (1) и данным таблицы 1 определяется, для каких помещений по назначению и для каких эквивалентных уровней шума у фасада здания выбранная конструкция окна подходит для необходимой звукоизоляции. В случае если для данного помещения и при данных эквивалентных уровнях звука у фасада здания звукоизоляции окна недостаточно, то её увеличивают, выбрав другую конструкцию, и процедуру повторяют до получения желаемого результата.

Первый метод применим к типовому строительству, где возможны решения по хорошему прототипу. Он прост и дает, как правило, приемлемый результат. Это – плюс. Но он не гарантирует выполнения допустимой нормы шума в помещении. Это – минус. Трудности состоят: 1. в необходимости иметь квалифицированного специалиста-акустика и 2. в доступном получении исходных данных звукоизоляции окна R_i и эквивалентных уровней звука у фасада здания $L_{A_{экв}}$.

Метод расчета ожидаемой шумности

Метод расчета ожидаемой шумности первоначально разработан группой ведущих судовых акустиков России под руководством д.т.н. профессора Игоря Ивановича Клюкина [3, 4, 5]. Рассмотрим его инженерную суть на основе ключевой формулы строительной акустики для типовой шумовой ситуации в городе [6].

Итак, на улице, в открытом пространстве «1», поток машин или другой источник шума (например, промышленное предприятие) создает шум звуковой мощностью W_1, $Вт$, с уровнем звуковой мощности L_{W1}, $дБ$. Источник шума находится в открытом пространстве, например, на улице близко к земле $(\alpha_1 = 1,\ Q_1 = \infty)$ на расстоянии r_1 от стены дома площадью S_{CT}, за которой находится помещение «2» с постоянной Q_2 и допустимой нормой шума L_{H2}. Этот шум, например с полусферической формой излучения, достигает стену дома с интенсивностью

$$J_1 = \frac{W_1}{2\pi r_1^2},\ Вт/м^2.$$

Если интенсивность звука, излучаемая этой стеной в помещение «2», есть J_{CT}, а коэффициент звукоизоляции стены этого здания есть $r_{CT} = J_1 / J_{CT}$ $(не\ путать\ с\ расстоянием\ r_1)$, то мощность звука, проникающая в помещение «2» указанного здания, есть $W_2 = J_{CT}\, S_{CT} = \dfrac{J_1\, S_{CT}}{r_{CT}}$. Примем, что в помещении «2» имеется диффузное звуковое поле со средним коэффициентом звукопоглощения α_2 ограждающих поверхностей и с общей площадью их S_2. Тогда постоянная звукопоглощения помещения $Q_2 = \dfrac{\alpha_2\, S_2}{(1-\alpha_2)}$ и интенсивность звука в центре помещении «2»:

$$J_2 = \frac{4W_2}{Q_2} = \frac{J_1\, S_{CT}}{r_{CT}}\frac{4}{Q_2} = \frac{W_1}{r_{CT}}\frac{S_{CT}}{2\pi r_1^2}\frac{4}{Q_2}.$$

Отсюда уровень звука L_{p2}, дБ, в расчетной точке помещения «2», который должен быть равен или меньше допустимого уровня звука L_{H2}, дБ, определяется ключевой формулой строительной акустики: $L_{p2} = L_{W1} + 10\lg\left[\left(\dfrac{1}{2\pi r_1^2} + \dfrac{1}{Q_1}\right) S_{CT}\left(\dfrac{4}{Q_2}\right)\right] - R_{HC} \le L_{H2}$, где L_{W1} – уровень звуковой мощности источника шума в пространстве «1», дБ; R_{HC} – допустимый уровень звуковой мощности источника давления

на рабочем месте в помещении «2», дБ. В открытом пространстве $\alpha_1 = 1,\ Q_1 = \dfrac{\alpha_1 S_1}{(1-\alpha_1)} = \infty,\ \dfrac{1}{Q_1} = 0$, поэтому в результате имеем:

$$L_{p2} = L_{W1} + 10\lg\left(\frac{1}{2\pi r_1^2}\right) + 10\lg\left[S_{CT}\left(\frac{4}{Q_2}\right)\right] - R_{HC} = L_{p1} + 10\lg\left[S_{CT}\left(\frac{4}{Q_2}\right)\right] - R_{HC} \le L_{H2},$$

где L_{p1} – уровень звукового давления снаружи у стены дома, дБ.

Требуемая звукоизоляция стены, которая определяется звукоизоляцией окна, рассчитывается по формуле: $R_{TP(HC)} \ge L_{W1} + 10\lg\left(\dfrac{1}{2\pi r_1^2}\right) + 10\lg\left[S_{CT}\left(\dfrac{4}{Q_2}\right)\right] - L_{H2}$, дБ .

Окончательно имеем:

$$R_{TP(HC)} \ge L_{p1} + 10\lg\left[S_{CT}\left(\frac{4}{\kappa Q_2}\right)\right] - L_{H2}, \text{дБ}, \qquad (2)$$

где – коэффициент, учитывающий нарушение диффузного звукового поля в помещении.

Таблица 4. Значения коэффициента κ

α_2	κ
0,2	1,25
0,4	1,60
0,5	2,00
0,6	2,50

Если расстояние между источником шума и расчетной точкой больше удвоенного максимального размера источника шума ($r_1 > 2l_{MAX}$) и между ними нет препятствий, экранизирующих шум или отражающих шум в направлении расчетной точки (снаружи на расстоянии 2 м от ограждающей конструкции), то октавные уровни звукового давления L_{p1}, дБ, в этой расчетной точке следует определять следующим образом:

- при точечном источнике шума (отдельная установка на территории, трансформатор и т.д.) – по формуле $L_{p1} = L_{W1} - 20\lg r_1 + 10\lg\Phi - \dfrac{\beta_a r_1}{1000} - 10\lg\Omega$,
- при протяженном источнике ограниченного размера (стена производственного здания, цепочка шахт вентиляционных систем на крыше производственного здания, трансформаторская подстанция с большим количеством открыто расположенных трансформаторов) – по формуле $L_{p1} = L_{W1} - 15\lg r_1 + 10\lg\Phi - \dfrac{\beta_a r_1}{1000} - 10\lg\Omega$.

В этих формулах значения величин Φ, Ω – то же, что и в ключевой формуле строительной акустики [1], а значения величины затухания звука в атмосфере β_a, дБ/км, принимается по таблице 5.

Таблица 5. Значения величины затухания звука в атмосфере β_a

Октавная полоса частот, f, Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Величина затухания, β_a, дБ/км	0	0,7	1,5	3	6	12	24	48

Примечание: при расстоянии $r_1 \le 50$ м затухание звука в атмосфере не учитывают.

Эквивалентные уровни звука у фасада здания при наиболее интенсивном движении транспорта (в дневное время, час «пик») $L_{p1} = L_{A_{ЭКВ}}$, дБА, могут быть или измерены [10], или рассчитаны [7].

Второй метод незаменим для уникальных строительных сооружений, где нет хорошего прототипа. Он более трудоёмок, чем первый; требует экспериментального контроля и доводки при строительстве и эксплуатации, а главное – высококвалифицированных специалистов-акустиков. Это на бытовом уровне – минус. Но второй метод надежно гарантирует выполнение допустимой нормы шума в помещениях. Это его безусловный плюс. Трудности здесь, еще большие чем для первого метода, состоят в получении исходных данных с определенной точностью и надежностью, а именно: 1. звукоизоляции окна R_i ; 2. постоянной звукопоглощения помещения Q_2; 3. эквивалентных уровней звука у фасада здания при наиболее интенсивном движении транспорта (в дневное время, час «пик») $L_{A_{ЭКВ}}$.

Приближенный метод

Приближенный метод разработан под руководством д.т.н., профессора Георгия Львовича Осипова и к.т.н. Игоря Любимовича Шубина [7]. По этому методу требования к необходимой звукоизоляции наружных окон зданий $R_{Атран}$ устанавливаются на основании ожидаемого уровня транспортного шума у фасада, обращенного в сторону источника шума $L_{A(ЭКВ.ТЕР2)}$, и допустимого уровня шума в помещении $L_{A(ЭКВ)ДОП}$ в соответствии с санитарными нормами, указанными в СНиПу 23-03-2003 [1]. Расчет ожидаемых уровней транспортного шума может производиться *приближенно* по формулам Г.Л. Осипова и И.Л. Шубина [7].

Снижение внешнего шума конструкцией окна в защищаемом помещении предлагается определять *по приближенной* в данном случае формуле звукоизоляции:

$$R = L_1 - L_2 + 10\lg\frac{S}{A},$$

где L_1 – уровень звукового давления в пространстве источника звука в 2 метрах от наружного ограждения, дБ; L_2 – уровень звукового давления в защищаемом помещении, где необходимо выполнить санитарные нормы шума, дБ; S – площадь ограждающей конструкции, м^2, со звукоизоляций *R*; *A* – эквивалентная площадь звукопоглощения в защищаемом помещении, м^2.

В нашем случае, если требуемое снижение внешнего шума конструкцией окна должно обеспечить допустимую норму шума в помещении L_H

$$\Delta L_A^{TP} = L_1 - L_H = R - 10\lg\frac{S}{A_П} = L_{A(ЭКВ.ТЕР2)} - L_{A(ЭКВ)ДОП}$$

и для помещений жилых, административных и других обитаемых зданий приближенно можно принять $\frac{S_0}{A_П} \approx 0,3$ и $10\lg\frac{S_0}{A_П} = -5,2\,дБ$ (S_0 – площадь окна, м^2; $A_П$ – эквивалентная площадь поглощения в помещении, средняя в диапазоне 125 – 1000 Гц, м^2), то требуемая звукоизоляция окна рассчитывается по формуле:

$$R_{АТРАН}^{TP} = L_{A(ЭКВ.ТЕР2)} - L_{A(ЭКВ)ДОП} - 5 = L_1 - L_H - 5, \text{ дБА. (3)}$$

Величина L_1 принимается по данным шумовой карты города или задается заказчиком, величина допустимой нормы шума в помещении L_H – по данным СНиПа 23-03-2003 [1].

Выбор конструкции окна по приближенному методу состоит в выполнении требования, чтобы фактическая звукоизоляция окна $R_{Атран}$ была не меньше требуемой по формуле (3), то есть в выполнении соотношения $R_{Атран} \geq R_{Атран}^{TP}$. Характеристики конструкции типовых шумозашитных окон со звукоизоляцией $R_{Атран}$, приведены в таблице 3 .

Третий метод используется, когда нет под рукой надежных исходных данным для первого и второго метода. Этим методом может воспользоваться инженер-строитель, окончивший краткосрочные курсы

акустика. Метод прост и гарантирует в первом приближении приемлемый результат. В этом его практическое значение, это – плюс. Минус – в малой надежности обеспечения желаемой тишины с помощью выбранной конструкции шумозащитного окна.

Конструкция типовых звукоизолирующих окон

Современное типовое звукоизолирующее (шумозащитное) окно состоит из стеклопакета с двумя стеклами, газовой среды между ними и дистанционной виброизолирующей рамки с осушителем. Условием надежности является качественная герметизация стеклопакета. При производстве стеклопакетов используют практически все виды стекол. Алюминий и оцинкованная сталь используются в качестве материала для дистанционных рамок, реже используется пластмасса. Рамка выполняется полой внутри, со специальными диффузионными отверстиями в сторону межстекольного пространства. Внутри рамки находится осушитель, который впитывает даже самые незначительные количества воды в межстекольном пространстве, благодаря чему предотвращается выпадение росы внутри стеклопакетов в холодное время года.

Как работает осушитель? Частицы осушителя имеют множество пор, диаметр пор больше чем диаметр атомов или молекул газа, в связи с этим газы диффундируют в эти поры и абсорбируются. Осушитель играет роль и звукопоглотителя. Для заделки швов в стеклопакете используют герметики, которые также играют роль виброизолятора. Важным для герметика является обеспечение прочности стеклопакетов и препятствие проникновению водяного пара в межстекольное пространство. Основными свойствами герметиков являются: сила сцепления со стеклом и материалом рамки, эластичность, прочность и время старения, ширина и толщина уплотняющей массы, скорость диффузии молекул через герметик.

Качественные стеклопакеты изготавливаются по принципу двойной герметизации. В качестве первичного герметика чаще всего применяется бутил, он обладает наилучшей относительной способностью сопротивляться проникновению водяного пара. Бутиловая масса наносится при температуре чуть больше ста градусов в виде тонкой ленты на обе стороны дистанционной рамки. Когда стекла сдавливают, между стеклами и рамкой остается разделяющий их бутиловый шов. С наружной стороны стеклопакета делают вторичную герметизацию, так как первичный герметик не может обеспечить требуемую прочность кромочного соединения. В качестве вторичного герметика чаще всего используют полисульфид.

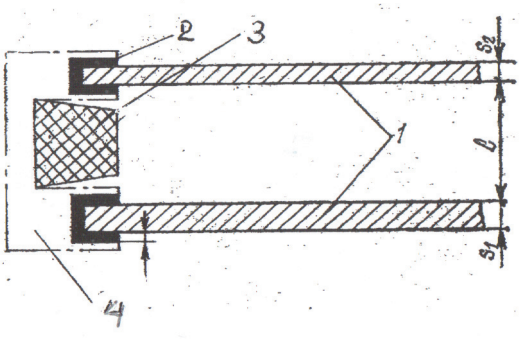


Рисунок 1. Схема типового звукоизолирующего окна: 1 – стекла, 2 – герметик-виброизолятор, 3 – осушитель-звукопоглотитель, 4 – рамка окна

Межстекольное пространство в стеклопакетах заполняют воздухом, иногда вместо воздуха для улучшения теплоизоляции – инертными газами аргоном Ar или криптоном Kr, и для улучшения звукоизоляции гексафторидом серы CFG[1]. Схема конструкции типового узла звукоизолирующего окна представлена на рис. 1.

Звукоизоляция типовых шумозащитных окон и витражей представлена в таблице 3.

Пример определения необходимой звукоизоляции окна

В качестве примера определим методом нормируемых параметров необходимую звукоизоляцию окна жилых комнат квартир в домах категории «В».

Первый вариант. Исходные данные: 1. по шумовой карте города эквивалентные уровни звука у фасада данного здания при наиболее интенсивном движении транспорта (в дневное время, час «пик») имеем $L_{A_{экв}}$ = 80 дБА; 2. по технической документации для данного окна данного здания имеем частотную характеристику звукоизоляции R_i .дБ, указанную в следующей таблице.

Таблица 6. Изоляция воздушного шума данным окном R_i ,дБ

Третьоктавные полосы частот, Гц	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
R_i **.дБ**	28	29	24	25	26	27	28	30	33	36	42	45	47	44	43	41

[1] см., например, www.peter-ecodom.ru/steklopaketu/

Решение. Рассчитаем величину звукоизоляции окна $R_{A\,тран}$, дБА, по формуле (1). Значения L_i указаны в таблице 2, а значения R_i – в таблице 6. Итак:

$$R_{A\,тран} = 75 - 10\lg\sum_{i=1}^{16} 10^{0,1(L_i - R_i)} =$$

$$= 75 - 10\lg(10^{2,7} + 10^{2,6} + 10^{3,3} + 4\cdot 10^{3,4} + 10^{3,3} + 10^{3,1} + 10^{3} + 10^{2,5} + 10^{1,8} + 10^{2} + 2\cdot 10^{1,9}) =$$

$$= 75 - 10\lg 17995 = 32,4\ дБА. \quad R_{A\,тран} \approx\ 32\ дБА$$

По полученному значению величины звукоизоляции окна $R_{A тран} \approx 32\ дБА$ согласно таблице 1 следует, что данная конструкция окна удовлетворяет нормативные требования $R^{H}_{A\,тран} = 30\ дБА$ к звукоизоляции окон для помещений жилых комнат и квартир в домах категории «В» и для эквивалентных уровнях звука у фасада здания $L_{A_{экв}} = 80\ дБА$.

Ответ. Необходимая звукоизоляция окна обеспечена принятой конструкцией для данного окна данного здания.

Второй вариант. Исходные данные: 1. по шумовой карте города эквивалентные уровни звука у фасада данного здания при наиболее интенсивном движении транспорта (в дневное время, час «пик») имеем $L_{A_{экв}}$ = 80 дБА; 2. нормативное требование к звукоизоляции окна жилых комнат квартир в домах категории «В» согласно таблице 1 при $L_{A_{экв}}$ = 80 дБА имеем $R^{H}_{A\,тран}$ = 30 дБА.

Решение. Надо выбрать такую конструкцию окна, чтобы выполнить соотношение $R_{A\,тран} \geq R^{H}_{A\,тран}$.

Для этого из таблицы 3 определяем необходимую конструкцию звукоизолирующего окна в жилых комнат квартир в домах категории «В», а именно под №5.

№ п.п.	Конструкция герметичных окон	Формула остекления (толщина силикатных стекол и воздушных промежутков между ними в мм)	$R_{A\,тран}$, дБА
5	Окно – двустенный стеклопакет	3+ 90 + 6	32

Ответ. Необходимая звукоизоляция окна обеспечена принятой конструкцией окна под №5.

Заключение

Представленный выше анализ трех методов определения необходимой звукоизоляции окон жилых и общественных зданий свидетельствует о том, что в настоящее время не существует единой общепризнанной методики такого определения.

Первой метод отражает сложившуюся отечественную и мировую практику в строительной индустрии. Он в основном предназначен для жилых и общественных зданий категории «В» (обеспечение предельно допустимых условий). В частности, к гостиницам категории «В» относятся гостиницы, имеющие по международной квалификации менее трех звезд. Этот метод, образно говоря, смотрит в лучшее прошлое [3, 6].

Второй метод предназначен в основном для жилых и общественных зданий категории «А» (обеспечение высококомфортных условий) и категории «Б» (обеспечение комфортных условий). В частности, к гостиницам категории «А» относятся гостиницы, имеющие по международной классификации четыре и пять звезд, к категории «Б» – три звезды. Он использует лучший опыт в более продвинутых по акустике областях науки и техники, а именно в судостроении [4, 5]. В строительной индустрии второй метод, образно говоря, устремлен в будущее [3].

Третий метод пытается соединить в упрощенной форме первый и второй метод для широкого использования в настоящее время. [7], как бы соединить лучшее прошлое с лучшим будущим. Он предназначен для всех категорий зданий и удобен на раннем этапе проектирования.

Создание единого метода определения необходимой звукоизоляции окон жилых и общественных зданий – задача будущего. Сейчас все три метода имеют право на существование, каждый со своими плюсами и минусами в области рационального применения.

В заключение надо также сказать, как *не следует* определять звукоизоляцию окон. Недопустимо делать это так, как в ГОСТе 24866-99 «Стеклопакеты клееные строительного назначения». В стандарте основные физические характеристики стеклопакетов указанны в таблице 4. В этой таблице представлены требуемые величины звукоизоляции *без указания её частотной характеристики*, что абсурдно физически и бесполезно практически, в том числе, конечно, и для определения необходимой звукоизоляции окна любым методом. Этот «прокол» в части определения необходимой звукоизоляции окон свел на нет стандарт, разработанный в спешке специалистами-стекольщиками в сложнейший период перехода нашей страны от плановой экономики к рыночной.

Литература

1. Строительные нормы и правила СНиП 23-03-2003 «Защита от шума»[2].
2. Свод правил по проектированию и строительству СП 23-103-2003 «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий»[3].
3. Боголепов И.И. Звукоизоляция зданий. Учебное пособие. Рукопись. СПб, 2010. 362 с.
4. Справочник по судовой акустике / Под общей ред. Клюкина И.И. и Боголепова И.И. Л., 1978. 504 с.
5. Боголепов И.И. Промышленная звукоизоляция. Теория, исследования, проектирование, изготовление, контроль. Монография. Л., 1986. 368 с.
6. Боголепов И.И. Строительная акустика. Общие профессиональные дисциплины в политехническом университете. Выпуск 2. СПб, 2006. 323 с.
7. Звукоизоляция и звукопоглощение. Учебное пособие/ Под ред. Осипова Г.Л. и Бобылева В.Н. М., 2004. 451 с.
8. ГОСТ 27296-87. «Защита от шума в строительстве. Звукоизоляция ограждающих конструкций. Методы измерений»[4].
9. Международный стандарт Международной организации по стандартизации.

ISO 140	Acoustics -- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements.	Акустика. Измерение звукоизоляции в зданиях и элементов зданий.

10. ГОСТ Р 53187-2008 «Акустика. Шумовой мониторинг городских территорий»[5].

**Игорь Ильич Боголепов, Санкт-Петербург*

Тел. раб.: 297-59-49, 535-79-92; эл. почта: igor.bogolepov@mail.ru

[2] Разработаны Научно-исследовательским институтом строительной физики РААСН. Приняты и введены в действие постановлением Госстроя России от 30 июня 2003г. № 136, взамен СНиП II-12-77 «Защита от шума». Устанавливают обязательные требования, которые должны выполняться при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий различного назначения, планировке и застройке населенных мест с целью защиты от шума и обеспечения нормативных параметров акустической среды в производственных, жилых, общественных зданиях и на территории жилой застройки. Особое внимание следует обратить на то, что в связи с введением в СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» новой системы оценки звукоизоляции, соответствующей международному стандарту ISO 717, произошло изменение в численных значениях индексов изоляции воздушного шума и индексов приведенных уровней ударного шума, определенных по СНиП II-12-77.

[3] Разработан Научно-исследовательским институтом строительной физики, Московским научно-исследовательским и проектным институтом технологии, экспериментального проектирования при участии Центрального научно-исследовательского и проектного института типового и экспериментального проектирования жилища и Московского государственного строительного университета. Одобрен постановлением Госстроя РФ от 25 декабря 2003г. № 217. Настоящий свод правил является дальнейшим развитием инструктивно-нормативной документации по вопросам расчета и проектирования звукоизоляции ограждений зданий. Он дополняет и уточняет ряд положений, содержащихся в СНиП 23-03-2003 «Защита от шума», а также приводит ряд конкретных примеров по расчету и проектированию звукоизоляции ограждающих конструкций зданий.

[4] Стандарт устанавливает методы измерения изоляции воздушного и ударного шума внутренними и наружными ограждающими конструкциями (стенами, перекрытиями и их элементами, перегородками) жилых и общественных зданий в натурных и лабораторных условиях и метод определения звукоизолирующих свойств полов в лабораторных условиях.

[5] Стандарт определяет основные понятия и величины, применяемые при мониторинге шума, устанавливает показатели и правила проведения шумового мониторинга при комплексном воздействии всех источников шума, а также при воздействии отдельных подвижных и стационарных источников. Кроме того, стандарт содержит указания по составлению оперативных шумовых карт городских территорий. Подвижные источники шума включают средства автодорожного, рельсового и авиационного транспорта. К стационарным источникам шума относят потоки автотранспорта улично-дорожной сети, долгосрочные (функционирующие не менее года) промышленные предприятия, энергетические и прочие неподвижные объекты.

Приложение. Георгий Львович Осипов (1929 – 2008)

Доктор технических наук (1977), профессор (1980), заслуженный деятель науки и техники (1989), почетный строитель России (1999), лауреат Государственной премии Российской Федерации в области науки и техники (2001), действительный член Американского акустического общества (1987), член Международного института акустики и вибраций (2001). Основные направления деятельности – разработка расчетов, проектирования и контроля средств защиты от шума и акустического благоустройства в помещениях зданий различного назначения и на территории застройки. Результаты нашли широкое применение в практике массового жилищного, производственного и общественного строительства, а также при создании уникальных сооружений – Храма Христа Спасителя, нового здания филиала Большого театра, современного Гостиного двора, Дома музыки в Москве и др.

В течение 20 лет до конца жизни – директор Научно-исследовательского института строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ). В составе НИИСФ работали 13 научных лабораторий (в том числе 6 в области строительной теплофизики, 4 – строительной акустики и экологии, 3 – строительной светотехники), три лаборатории испытаний и сертификации строительной продукции и два центра по сертификации. Многолетний непременный председатель докторского диссертационного совета по специальностям 05.23.01, 05.23.03, 03.00.16 при НИИСФ.

Ведущий разработчик ГОСТов по строительной акустике и СНиПов «Защита от шума». Автор более 200 научных работ, в том числе 12 монографий и учебных пособий. Имеет 30 авторских свидетельств. Научную и организаторскую работу в НИИСФ успешно совмещал с преподавательской деятельностью в Московском государственном строительном университете, Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете и Московском архитектурном институте. Подготовил 18 кандидатов технических наук и 4 докторов технических наук.

На книгах Г.Л. Осипова выросло целое поколений строительных инженеров-акустиков в СССР, России и бывших стран народной демократии: «Шумы и звукоизоляция» (1967), «Борьба с шумом в машиностроении» (1980), «Методы измерения и нормирование шумовых характеристик» (1983), «Борьба с шумом на производстве. Справочник» (1985), «Снижение шума в зданиях и жилых районах» (1987), «Защита от шума в градостроительстве. Справочник проектировщика» (1993), «Звукоизоляция и звукопоглощение» (2004), «Проектирование звукоизоляции ограждающих конструкций жилых и общественных зданий» (2004).

Один из главных основателей строительной физики и крупный специалист в области строительной акустики мирового уровня – знаменитый акустик России.

http://www.rusperson.com Георгий Львович Осипов.

http://www.niisf.ru Научно-исследовательский институт строительной физики РААСН.

Нелинейные уравнения движения ребристых оболочек с учетом различных свойств материала. I

К.т.н. В.М. Жгутов*,
ООО «Архитектурно-строительная компания «Китеж»

Оболочки обладают практически неисчерпаемым разнообразием геометрических форм и высокой несущей способностью (при относительно небольшой материалоемкости), а потому как элементы разного рода конструкций находят широкое применение в технике и строительстве.

Для придания большей жесткости тонкостенная часть оболочки зачастую подкрепляется ребрами (или накладками), что существенно повышает ее прочность при незначительном увеличении массы конструкции. По технологическим причинам оболочки могут иметь вырезы, которые в ряде случаев также подкрепляются ребрами.

Таким образом, в одной конструкции могут быть и ребра, и вырезы; следовательно, всю конструкцию необходимо рассматривать как оболочку ступенчато-переменной толщины (или ребристую оболочку).

Указанные конструкции могут подвергаться не только статическим, но и динамическим нагрузкам, допуская прогибы, соизмеримые с толщиной оболочки.

Расчеты на прочность, колебания и устойчивость таких конструкций играют важную роль при проектировании современных аппаратов, машин и сооружений. Тем не менее, поведение тонкостенных конструкций, содержащих ребра (накладки или вырезы), с учетом дискретности расположения ребер, их сдвиговой и крутильной жесткостей, поперечных сдвигов, геометрической и физической нелинейностей, возможности развития деформации ползучести при длительных нагрузках, исследовано недостаточно. Причины тому – сложность совместного учета всех упомянутых факторов и необходимость решения громоздких нелинейных краевых задач.

В процессе деформирования в зависимости от уровня и длительности внешних воздействий могут проявиться различные свойства материала конструкции: упругость, пластичность, ползучесть и т.д. Проявление пластичности или ползучести приводит к необратимым последствиям. Для того чтобы конструкция являлась заведомо прочной и устойчивой, необходимо исключить возможность проявления этих свойств.

В свете изложенного актуальными и важными представляются задачи разработки более совершенных моделей деформирования ребристых оболочек и соответствующих им алгоритмов их исследования, а также анализа прочности и устойчивости ребристых оболочек при учете различных свойств материала.

Исследование свободных нелинейных колебаний оболочек проводилось В.М. Жгутовым в работе [1]. Автором были получены уравнения (колебательного) движения упругих изотропных пологих оболочек при учете геометрической нелинейности, дискретного расположения ребер, их ширины, сдвиговой и крутильной жесткости, а также эффекта поперечных сдвигов и инерции вращения.

В настоящей работе предпринята попытка обобщения и развития предложенных автором математических моделей на случаи оболочек общего вида и при учете различных свойств материала.

Рассматриваем оболочки общего вида с краем (пологие на прямоугольном плане и вращения, в частности, цилиндрические, конические, сферические, торообразные, а также некоторые другие оболочки).

Срединную поверхность оболочки (точнее, ее обшивки) толщиной h принимаем за отсчетную поверхность $z = 0$. Оси x и y криволинейной ортогональной системы координат ($-a \le x \le a$ и $-b \le y \le b$) направляем по линиям кривизны отсчетной поверхности, а ось z – по внутренней нормали поверхности $z = 0$ так, чтобы система координат x, y, z была правой. (Полагаем, что определенная таким образом сеть координатных линий на отсчетной поверхности не имеет особенностей).

С внутренней стороны оболочка подкреплена ребрами жесткости, расставленными вдоль координатных линий.

Ребра (или вырезы) задаем дискретно с помощью функции $H = H(x, y)$, характеризующей распределение ребер (вырезов) по оболочке, их ширину и высоту [1,2,3]. Таким образом, толщина всей конструкции равна $h + H$ и $-h/2 \le z \le h/2 + H$. (Если $H > 0$, то оболочка подкреплена ребрами (или накладками), если же $H < 0$, то она ослаблена вырезами).

Считаем, что оболочка находится под действием динамической механической нагрузки при определенном закреплении ее края (контура).

Будем учитывать геометрическую нелинейность, дискретное расположение ребер, их ширину, сдвиговую и крутильную жесткости, эффект поперечных сдвигов и инерции вращения, а также возможные нелинейную упругость и ползучесть материала оболочки.

1. Геометрические соотношения в срединной поверхности $z = 0$ получаются с помощью ковариантного дифференцирования векторного поля перемещений и с учетом геометрической нелинейности имеют вид

$$\varepsilon_x = \frac{1}{A}\frac{\partial U}{\partial x} + \frac{1}{AB}\frac{\partial A}{\partial y}V - K_x W + \frac{1}{2}\theta_1^2;\ \varepsilon_y = \frac{1}{B}\frac{\partial V}{\partial y} + \frac{1}{AB}\frac{\partial B}{\partial x}U - K_y W + \frac{1}{2}\theta_2^2;$$

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{A}\frac{\partial V}{\partial x} + \frac{1}{B}\frac{\partial U}{\partial y} - \frac{1}{AB}\left(\frac{\partial A}{\partial y}U + \frac{\partial B}{\partial x}V\right) + \theta_1\theta_2, \quad (1)$$

где ε_x, ε_y и γ_{xy} – деформации удлинения вдоль осей x, y и сдвига в касательной плоскости (dx, dy); U, V и W – компоненты вектора перемещений точек вдоль осей x, y и z соответственно; A и B – метрические коэффициенты Ламе, зависящие от вида оболочки (например, $A = B = 1$ для пологой оболочки и $A = const$, $B = B(x)$ в случае оболочки вращения); $K_x = 1/R_1$ и $K_y = 1/R_2$ – главные кривизны (R_1 и R_2 – главные радиусы кривизны) оболочки вдоль осей x и y соответственно; $\theta_1 = -\left(\frac{1}{A}\frac{\partial W}{\partial x} + K_x U\right)$; $\theta_2 = -\left(\frac{1}{B}\frac{\partial W}{\partial y} + K_y V\right)$.

Деформации поперечных сдвигов определяем по формулам

$$\gamma_{xz} = c f(z)(\psi_x - \theta_1);\ \gamma_{yz} = c f(z)(\psi_y - \theta_2), \quad (2)$$

где φ_x и φ_y – углы поворота отрезка нормали в плоскостях (dx, dz) и (dy, dz) соответственно; $f(z)$ – функция, характеризующая распределение напряжений τ_{xz} и τ_{yz} вдоль оси z [1,3]; c – константа.

Перемещения и деформаций в слое $z \neq 0$ вычисляем по формулам [1,3]

$$U^z = U + z\psi_x,\ V^z = V + z\psi_y,\ W^z = W;$$

$$\varepsilon_x^z = \varepsilon_x + z\chi_1,\ \varepsilon_y^z = \varepsilon_y + z\chi_2,\ \gamma_{xy}^z = \gamma_{xy} + 2z\chi_{12},$$

где $\chi_1 = \frac{1}{A}\frac{\partial \psi_x}{\partial x} + \frac{1}{AB}\frac{\partial A}{\partial y}\psi_y$; $\chi_2 = \frac{1}{B}\frac{\partial \psi_y}{\partial y} + \frac{1}{AB}\frac{\partial B}{\partial x}\psi_x$; $2\chi_{12} = \frac{1}{A}\frac{\partial \psi_y}{\partial x} + \frac{1}{B}\frac{\partial \psi_x}{\partial y} - \frac{1}{AB}\left(\frac{\partial A}{\partial y}\psi_x + \frac{\partial B}{\partial x}\psi_y\right)$

суть функции изменении кривизны и кручения.

2. Физические соотношения в произвольной точке оболочки, выполненной из линейно упругого ортотропного материала, в соответствии с обобщенным законом Гука имеют вид [4]

$$\sigma_x = G_1[\varepsilon_x + \mu_2\varepsilon_y + z(\chi_1 + \mu_2\chi_2)],\ \sigma_y = G_2[\varepsilon_y + \mu_1\varepsilon_x + z(\chi_2 + \mu_1\chi_1)];\ \tau_{xy} = G_{12}[\gamma_{xy} + 2z\chi_{12}] \quad (3)$$

$$\tau_{xz} = G_{13}\gamma_{xz} = G_{13}k f(z)(\psi_x - \theta_1);\ \tau_{yz} = G_{23}\gamma_{yz} = G_{23}k f(z)(\psi_y - \theta_2),$$

где E_1, E_2 и μ_1, μ_2 – продольные модули Юнга и коэффициенты Пуассона данного материала, причем $E_1\mu_2 = E_2\mu_1$; G_{12}, G_{13} и G_{23} – модули сдвига соответственно в плоскостях симметрии (dx, dy), (dx, dz) и (dy, dz) материала оболочки.

В случае изотропного линейно упругого материала физические соотношения являются частным случаем соотношений (3) при $E_1 = E_2 = E$ и $\mu_1 = \mu_2 = \mu$, а также $G_{12} = G_{13} = G_{23} = G = E/2(1+\mu)$.

Интегрируя напряжения из (3) по z в пределах от $-h/2$ до $h/2 + H$, получаем погонные усилия, моменты и поперечные силы, приведенные к отсчетной поверхности [4]:

$$N_x = G_1[(h + \bar{F})(\varepsilon_x + \mu_2\varepsilon_y) + \bar{S}(\chi_1 + \mu_2\chi_2)],\ N_y = G_2[(h + \bar{F})(\varepsilon_y + \mu_1\varepsilon_x) + \bar{S}(\chi_2 + \mu_1\chi_1)],$$

$$N_{xy} = G_{12}[(h + \bar{F})\gamma_{xy} + 2\bar{S}\chi_{12}];$$

$$M_x = G_1\left[\bar{S}(\varepsilon_x + \mu_2\varepsilon_y) + \left(\frac{h^3}{12} + \bar{J}\right)(\chi_1 + \mu_2\chi_2)\right],\ M_y = G_2\left[\bar{S}(\varepsilon_y + \mu_1\varepsilon_x) + \left(\frac{h^3}{12} + \bar{J}\right)(\chi_2 + \mu_1\chi_1)\right],$$

$$M_{xy} = G_{12}\left[\bar{S}\gamma_{xy} + 2\left(\frac{h^3}{12} + \bar{J}\right)\chi_{12}\right];$$

$$Q_x = kG_{13}(h+\bar{F})(\psi_x - \theta_1),\ Q_y = kG_{23}(h+\bar{F})(\psi_y - \theta_2). \quad (4)$$

Здесь $\bar{F},\ \bar{S},\ \bar{J}$ – площадь поперечного (продольного) сечения ребра, приходящаяся на единицу длины сечения, статический момент и момент инерции данного сечения соответственно:

$$\bar{F} = \int_{h/2}^{h/2+H} dz,\ \bar{S} = \int_{h/2}^{h/2+H} zdz,\ \bar{J} = \int_{h/2}^{h/2+H} z^2 dz;$$

$$G_1 = \frac{E_1}{1-\mu_1\mu_2},\ G_2 = \frac{E_2}{1-\mu_1\mu_2}.$$

Физические соотношения для ортотропных материалов при учете ползучести материала в соответствии с теориями упругоползучего тела могут быть представлены в виде [5]

$$\sigma_x = \sigma_x^e - \sigma_x^c,\ \sigma_y = \sigma_y^e - \sigma_y^c,\ \tau_{xy} = \tau_{xy}^e - \tau_{xy}^c,$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xz}^e - \tau_{xz}^c,\ \tau_{yz} = \tau_{zy}^e - \tau_{zy}^c,$$

где упругомгновенные (в частности, упругие) составляющие напряжений (отмечены индексом «*e*»), определяются с помощью формул

$$\sigma_x^e = G_1(\varepsilon_x^z + \mu_2\varepsilon_y^z),\ \sigma_y^e = G_2(\varepsilon_y^z + \mu_1\varepsilon_x^z),\ \tau_{xy}^e = G_{12}\gamma_{xy}^z;$$

$$\tau_{xz}^e = G_{13}\gamma_{xz},\ \tau_{yz}^e = G_{23}\gamma_{yz}, \quad (5)$$

а составляющие, обусловленные ползучестью материала (отмечены индексом «*c*»), вычисляются с помощью соотношений

$$\sigma_x^c = \int_{t_0}^{t} G_1\left(\varepsilon_x^z + \mu_2\varepsilon_y^z\right)R_1(t,\tau)d\tau,\ \sigma_y^c = \int_{t_0}^{t} G_2\left(\varepsilon_y^z + \mu_1\varepsilon_x^z\right)R_1(t,\tau)d\tau,\ \tau_{xy}^c = \int_{t_0}^{t} G_{12}\gamma_{xy}^z R_2(t,\tau)d\tau;$$

$$\tau_{xz}^c = \int_{t_0}^{t} G_{13}\gamma_{xz}R_2(t,\tau)d\tau,\ \tau_{yz}^c = \int_{t_0}^{t} G_{23}\gamma_{yz}R_2(t,\tau)d\tau. \quad (6)$$

Здесь $R_1(t,\tau)$ и $R_2(t,\tau)$ – функции влияния материала при растяжении (сжатии) и сдвиге, где t – время, τ – переменная интегрирования (имеет смысл времени);

$G_1 = \dfrac{E_1}{1-\mu_1\mu_2}$, $G_1 = \dfrac{E_2}{1-\mu_1\mu_2}$, G_{12}, G_{13} и G_{23} – модули сдвига [константы либо переменные коэффициенты (функции t) в общем случае], где E_1, E_2 и μ_1, μ_2 – продольные модули упругости и коэффициенты Пуассона (переменные либо константы).

Для изотропных материалов физические соотношения являются частным случаем соотношений (5) и (6) при $E_1 = E_2 = E$ и $\mu_1 = \mu_2 = \mu$, а также $G_1 = G_2 = E/(1-\mu^2)$, $G_{12} = G_{13} = G_{23} = G = E/2(1+\mu)$ [6,7].

Интегрируя напряжения (5) и (6) по *z* в пределах от –*h*/2 до *h*/2 + *H*, получим выражения для погонных усилий, моментов и поперечных сил (приведенных к отсчетной поверхности) в следующем виде [5]:

$$N_x = N_x^e - N_x^c,\ N_y = N_y^e - N_y^c,\ N_{xy} = N_{xy}^e - N_{xy}^c;\ M_x = M_x^e - M_x^c,\ M_y = M_y^e - M_y^c,\ M_{xy} = M_{xy}^e - M_{xy}^c;$$

$$Q_x = Q_x^e - Q_x^c,\ Q_y = Q_y^e - Q_y^c, \quad (7)$$

где упругомгновенные (в частности, упругие) составляющие (с индексом «*e*») вычисляются по формулам

$$N_x^e(t) = G_1\left[(h+\bar{F})(\varepsilon_x + \mu_2\varepsilon_y) + \bar{S}(\chi_1 + \mu_2\chi_2)\right];$$

$$N_y^e(t) = G_2\left[(h+\bar{F})(\varepsilon_y + \mu_1\varepsilon_x) + \bar{S}(\chi_2 + \mu_1\chi_1)\right];$$

$$N_{xy}^e(t) = G_{12}\left[(h+\bar{F})\gamma_{xy} + 2\bar{S}\chi_{12}\right].$$

$$M_x^e(t) = G_1\left[\bar{S}(\varepsilon_x + \mu_2\varepsilon_y) + \left(\frac{h^3}{12} + \bar{J}\right)(\chi_1 + \mu_2\chi_2)\right];$$

$$M_y^e(t) = G_2\left[\bar{S}(\varepsilon_y + \mu_1\varepsilon_x) + \left(\frac{h^3}{12} + \bar{J}\right)(\chi_2 + \mu_1\chi_1)\right];$$

$$M_{xy}^e(t) = G_{12}\left[\bar{S}\gamma_{xy} + 2\left(\frac{h^3}{12} + \bar{J}\right)\chi_{12}\right];$$

$$Q_x^e(t) = kG_{13}(h + \bar{F})(\psi_x - \theta_1);\ Q_y^e(t) = kG_{23}(h + \bar{F})(\psi_y - \theta_2),$$

а составляющие внутренних силовых факторов, обусловленные ползучестью материала (с индексом «*c*»), определяются с помощью выражений

$$N_x^c = \int_{t_0}^{t} N_x^e(\tau)R_1(t,\tau)d\tau;\ N_y^c = \int_{t_0}^{t} N_y^e(\tau)R_1(t,\tau)d\tau;$$

$$N_{xy}^c = \int_{t_0}^{t} N_{xy}^e(\tau)R_2(t,\tau)d\tau;\ M_x^c = \int_{t_0}^{t} M_x^e(\tau)R_1(t,\tau)d\tau;$$

$$M_y^c = \int_{t_0}^{t} M_y^e(\tau)R_1(t,\tau)d\tau;\ M_{xy}^c = \int_{t_0}^{t} M_{xy}^e(\tau)R_2(t,\tau)d\tau;$$

$$Q_x^c(t) = \int_{t_0}^{t} Q_x^e(\tau)R_2(t,\tau)d\tau;\ Q_y^c = \int_{t_0}^{t} Q_y^e(\tau)R_2(t,\tau)d\tau.$$

Примечание. При решении задач ползучести интегралы по переменной τ разбиваем на сумму интегралов по частичным отрезкам $[t_{i-1}, t]$ заданной длины $\Delta t = t_i - t_{i-1}$ каждый. Указанные интегралы вычисляем приближенно по формуле прямоугольников [6,7].

В соответствии с деформационной теорией пластичности физические соотношения для нелинейно-упругого изотропного материала имеют вид [8–12]

$$\sigma_x = \sigma_x^{\text{e}} - \sigma_x^{\text{p}},\ \sigma_y = \sigma_y^{\text{e}} - \sigma_y^{\text{p}},\ \tau_{xy} = \tau_{xy}^{\text{e}} - \tau_{xy}^{\text{p}},$$

$$\tau_{xz} = \tau_{xz}^{\text{e}} - \tau_{xz}^{\text{p}},\ \tau_{yz} = \tau_{yz}^{\text{e}} - \tau_{yz}^{\text{p}},$$

где линейно упругие составляющие (отмечены индексом «*e*») определяются с помощью известных формул

$$\sigma_x^{\text{e}} = G_1(\varepsilon_x^z + \mu\varepsilon_y^z),\ \sigma_y^{\text{e}} = G_2(\varepsilon_y^z + \mu\varepsilon_x^z);$$

$$\tau_{xy}^{\text{e}} = G_{12}\gamma_{xy}^z,\ \tau_{xz}^{\text{e}} = G_{13}\gamma_{xz},\ \tau_{yz}^{\text{e}} = G_{23}\gamma_{yz}, \quad (8)$$

являющихся частным случаем соотношений (3) при $G_1 = G_2 = E/(1-\mu^2)$ и $G_{12} = G_{13} = G_{23} = E/2(1-\mu)$, а нелинейно-упругие (упругопластические) составляющие (отмечены индексом «*p*») вычисляются с помощью соотношений

$$\sigma_x^{\text{p}} = G_1 m\varepsilon_i^2(\varepsilon_x^z + \mu\varepsilon_y^z),\ \sigma_y^{\text{p}} = G_2 m\varepsilon_i^2(\varepsilon_y^z + \mu\varepsilon_x^z);$$

$$\tau_{xy}^{\text{p}} = G_{12} m\varepsilon_i^2\gamma_{xy}^z,\ \tau_{xz}^{\text{p}} = G_{13} m\varepsilon_i^2\gamma_{xz},\ \tau_{yz}^{\text{p}} = G_{23} m\varepsilon_i^2\gamma_{yz}, \quad (9)$$

где $\varepsilon_i = \frac{2}{\sqrt{3}}\sqrt{(\varepsilon_x^z)^2 + \varepsilon_x^z\varepsilon_y^z + (\varepsilon_y^z)^2 + \frac{1}{4}[(\gamma_{xy}^z)^2 + \gamma_{xz}^2 + \gamma_{yz}^2]}$ – интенсивность деформации [5].

Интегрируя напряжения (8) и (9) по *z* в пределах от –*h*/2 до *h*/2 + *H* получим выражения для погонных усилий, моментов и поперечных сил (приведенных к отсчетной поверхности) в следующем виде [8 – 11]:

$$N_x = N_x^{\text{e}} - N_x^{\text{p}},\ N_y = N_y^{\text{e}} - N_y^{\text{p}},\ N_{xy} = N_{xy}^{\text{e}} - N_{xy}^{\text{p}},$$

$$M_x = M_x^{\text{e}} - M_x^{\text{p}},\ M_y = M_y^{\text{e}} - M_y^{\text{p}},\ M_{xy} = M_{xy}^{\text{e}} - M_{xy}^{\text{p}}$$

$$Q_x = Q_x^{\text{e}} - Q_x^{\text{p}},\ Q_y = Q_y^{\text{e}} - Q_y^{\text{p}}, \quad (10)$$

где линейно упругие составляющие (с индексом «*e*») вычисляются по формулам

$$N_x^e = G_1[(h+\overline{F})(\varepsilon_x+\mu\varepsilon_y)+\overline{S}(\chi_1+\mu\chi_2)];$$
$$N_y^e = G_2[(h+\overline{F})(\varepsilon_y+\mu\varepsilon_x)+\overline{S}(\chi_2+\mu\chi_1)];$$
$$N_{xy}^e = G_{12}[(h+\overline{F})\gamma_{xy}+2\overline{S}\chi_{12}];$$
$$M_x^e = G_1\left[\overline{S}(\varepsilon_x+\mu\varepsilon_y)+\left(\frac{h^3}{12}+\overline{J}\right)(\chi_1+\mu\chi_2)\right]; \quad (11)$$
$$M_y^e = G_2\left[\overline{S}(\varepsilon_y+\mu\varepsilon_x)+\left(\frac{h^3}{12}+\overline{J}\right)(\chi_2+\mu\chi_1)\right];$$
$$M_{xy}^e = G_{12}\left[\overline{S}\gamma_{xy}+2\left(\frac{h^3}{12}+\overline{J}\right)\chi_{12}\right],$$
$$Q_x^e = kG_{13}(h+\overline{F})(\psi_x-\theta_1);\ Q_y^e = kG_{23}(h+\overline{F})(\psi_y-\theta_2),$$

а нелинейно-упругие (упругопластические) составляющие (с индексом «*p*») внутренних силовых факторов определяются с помощью выражений

$$N_x^{\text{p}} = G_1[I_1(\varepsilon_x+\mu\varepsilon_y)+I_2(\chi_1+\mu\chi_2)];$$
$$N_y^{\text{p}} = G_2[I_1(\varepsilon_y+\mu\varepsilon_x)+I_2(\chi_2+\mu\chi_1)];$$
$$N_{xy}^{\text{p}} = G_{12}(I_1\gamma_{xy}+2I_2\chi_{12});$$
$$M_x^{\text{p}} = G_1[I_2(\varepsilon_x+\mu\varepsilon_y)+I_3(\chi_1+\mu\chi_2)]; \quad (12)$$
$$M_y^{\text{p}} = G_2[I_2(\varepsilon_y+\mu\varepsilon_x)+I_3(\chi_2+\mu\chi_1)];$$
$$M_{xy}^{\text{p}} = G_{12}(I_2\gamma_{xy}+2I_3\chi_{12});$$
$$Q_x^{\text{p}} = G_{13}kI_4(\psi_x-\theta_1);\ Q_y^{\text{p}} = G_{23}kI_4(\psi_y-\theta_2).$$

В соотношениях (12) $I_s = m\int_{-h/2}^{h/2+H}\varepsilon_i^2 z^{s-1}dz,\ 1\le s\le 3$; $I_4 = m\int_{-h/2}^{h/2+H}\varepsilon_i^2 f(z)dz$ – жесткостные параметры.

3. Рассмотрим процесс движения на промежутке времени [t_0, t_1]. В соответствии с фундаментальным принципом наименьшего действия (в форме Гамильтона – Остроградского) истинные траектории движения точек системы для данного промежутка времени должны доставлять стационарное значение величине (действию) [1]

$$I = \int_{t_0}^{t_1}(K-\Pi+A^E)dt, \quad (11)$$

где K и Π – кинетическая и потенциальная энергия системы соответственно; A^E – работа внешних сил.

Математически принцип наименьшего действия в этом случае выражается в виде вариационного уравнения

$$\delta I = \delta\int_{t_0}^{t_1}\left(K-\Pi+A^E\right)dt = 0, \quad (12)$$

где δ – символ (изохронной) вариации.

Здесь

$$K = \frac{\rho}{2}\iiint_{\Omega}\left[\left(\frac{\partial U^z}{\partial t}\right)^2+\left(\frac{\partial V^z}{\partial t}\right)^2+\left(\frac{\partial W^z}{\partial t}\right)^2\right]d\Omega \quad (13)$$

$$\Pi = \frac{1}{2}\iiint\limits_{\Omega} [\sigma_x \varepsilon_x^z + \sigma_y \varepsilon_y^z + \tau_{xy}\gamma_{xy}^z + \tau_{xz}\gamma_{xz} + \tau_{yz}\gamma_{yz}]d\Omega \text{ , (14)}$$

$$A^E = \iint\limits_{S} (P_x U + P_y V + qW)dS \text{ , (15)}$$

где $\rho = \gamma / g$ (γ –удельный вес материала оболочки, g – ускорение силы тяжести); P_x, P_y и q – компоненты внешней механической нагрузки в направлении координатных линий x, y и оси z; Ω – область в пространстве (x, y, z); S – область в плоскости (x, y); $d\Omega$ и dS – дифференциалы объема и отсчетной поверхности данной оболочки соответственно ($d\Omega = ABdxdydz$; $dS = ABdxdy$).

Проинтегрировав по *z* ($-h/2 \le z \le h/2 + H$) выражения (13) и (14), получим

$$\Pi = \frac{1}{2}\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\left\{N_x\varepsilon_x + N_y\varepsilon_y + N_{xy}\gamma_{xy} + M_x\chi_1 + M_y\chi_2 + 2M_{xy}\chi_{12} + Q_x(\psi_x - \theta_1) + Q_y(\psi_y - \theta_2)\right\}dS \text{ , (16)}$$

где внутренние силовые факторы (усилия, моменты и поперечные силы) вычисляются (в зависимости от учитываемых свойств материала) с помощью соотношений (4), (7) или (10), а деформации – по формулам (1) и (2);

$$K = \frac{\rho}{2}\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\left\{(h+\bar{F})\left(\dot{U}^2 + \dot{V}^2 + \dot{W}^2\right) + 2\bar{S}\left(\dot{U}\dot{\psi}_x + \dot{V}\dot{\psi}_y\right) + \left(\frac{h^3}{12} + \bar{J}\right)\left(\dot{\psi}_x^2 + \dot{\psi}_y^2\right)\right\}dS \text{ . (17)}$$

В соответствии с принятой в механике традиции точками здесь и далее обозначены производные по времени *t*.

Заметим, что неизвестные функции перемещений U, V, W и углов поворота нормали ψ_x, ψ_y, равно, как и воздействующие нагрузки P_x, P_y и q, зависят не только от внутренних координат x, y, но и времени *t*.

Преобразуем вариационное уравнение (12) с учетом соотношений (15), (16) и (17) так, чтобы под знаком (тройного) интеграла не было вариаций от производных функций *U*, *V*, *W*, ψ_x, ψ_y.

Будем рассматривать сначала пологие оболочки, для которых полагается, что в процессе деформирования величины $K_x U$ и $K_y V$ малы, $\frac{1}{A}\frac{\partial W}{\partial x} >> K_x U$ и $\frac{1}{B}\frac{\partial W}{\partial y} >> K_y V$, а значит $\theta_1 \approx -\frac{1}{A}\frac{\partial W}{\partial x}$; $\theta_2 \approx -\frac{1}{B}\frac{\partial W}{\partial y}$, причем $A = B = 1$.

В результате с учетом принятых допущений вариационное уравнение (12) будет иметь вид

$$\delta I = \int_{t_0}^{t_1}\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\left\{\left[\frac{\partial N_x}{\partial x} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial y} + P_x - \rho(h+\bar{F})\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - \rho\bar{S}\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2}\right]\delta U + \right.$$

$$+\left[\frac{\partial N_y}{\partial y} + \frac{\partial N_{xy}}{\partial x} + P_y - \rho(h+\bar{F})\frac{\partial^2 V}{\partial t^2} - \rho\bar{S}\frac{\partial^2 \psi_y}{\partial t^2}\right]\delta V +$$

$$+\left[N_x K_x + N_y K_y + \frac{\partial}{\partial x}\left(N_x\frac{\partial W}{\partial x} + N_{xy}\frac{\partial W}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(N_y\frac{\partial W}{\partial y} + N_{xy}\frac{\partial W}{\partial x}\right) + \right.$$

$$\left. + \frac{\partial Q_x}{\partial x} + \frac{\partial Q_y}{\partial y} + q - \rho(h+\bar{F})\frac{\partial^2 W}{\partial t^2}\right]\delta W +$$

$$+\left[\frac{\partial M_x}{\partial x} + \frac{\partial M_{xy}}{\partial y} - Q_x - \rho\bar{S}\frac{\partial^2 U}{\partial t^2} - \rho\left(\frac{h^3}{12} + \bar{J}\right)\frac{\partial^2 \psi_x}{\partial t^2}\right]\delta\psi_x +$$

$$+\left[\frac{\partial M_y}{\partial y}+\frac{\partial M_{xy}}{\partial x}-Q_y-\rho\bar{S}\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}-\rho\left(\frac{h^3}{12}+\bar{J}\right)\frac{\partial^2\psi_y}{\partial t^2}\right]\delta\psi_y\Bigg\}dxdydt+$$

$$+\rho\int_{-a}^{a}\int_{-b}^{b}\Bigg\{\left[(h+\bar{F})\frac{\partial U}{\partial t}+\bar{S}\frac{\partial\psi_x}{\partial t}\right]\delta U+\left[(h+\bar{F})\frac{\partial V}{\partial t}+\bar{S}\frac{\partial\psi_y}{\partial t}\right]\delta V+$$

$$+(h+\bar{F})\frac{\partial W}{\partial t}\delta W+\left[\bar{S}\frac{\partial U}{\partial t}+\left(\frac{h^3}{12}+\bar{J}\right)\frac{\partial\psi_x}{\partial t}\right]\delta\psi_x+$$

$$+\left[\bar{S}\frac{\partial V}{\partial t}+\left(\frac{h^3}{12}+\bar{J}\right)\frac{\partial\psi_y}{\partial t}\right]\delta\psi_y\Bigg\}\Bigg|_{t=t_0}^{t=t_1}dxdy-\int_{t_0}^{t_1}\int_{-b}^{b}\Bigg[N_x\delta U+N_{xy}\delta V+\Bigg(N_x\frac{\partial W}{\partial x}+$$

$$+N_{xy}\frac{\partial W}{\partial y}+Q_x\Bigg)\delta W+M_x\delta\psi_x+M_{xy}\delta\psi_y\Bigg]\Bigg|_{x=-a}^{x=a}dydt-\int_{t_0}^{t_1}\int_{-a}^{a}\Bigg[N_{xy}\delta U+N_y\delta V+\Bigg(N_y\frac{\partial W}{\partial y}+$$

$$+N_{xy}\frac{\partial W}{\partial x}+Q_y\Bigg)\delta W+M_{xy}\delta\psi_x+M_y\delta\psi_y\Bigg]\Bigg|_{y=-b}^{y=b}dxdt=0\,. \quad (18)$$

Ясно, что в уравнении (18) вариации δU, δV, δW, $\delta\psi_x$, $\delta\psi_y$ следует считать произвольными. Следовательно, приравнивая нулю сомножители, стоящие перед каждой из указанных вариаций, получаем уравнения движения оболочки:

$$\frac{\partial N_x}{\partial x}+\frac{\partial N_{xy}}{\partial y}+P_x-\rho\left[(h+\bar{F})\frac{\partial^2 U}{\partial t^2}+\bar{S}\frac{\partial^2\psi_x}{\partial t^2}\right]=0;$$

$$\frac{\partial N_y}{\partial y}+\frac{\partial N_{xy}}{\partial x}+P_y-\rho\left[(h+\bar{F})\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}+\bar{S}\frac{\partial^2\psi_y}{\partial t^2}\right]=0;$$

$$N_xK_x+N_yK_y+\frac{\partial}{\partial x}\left(N_x\frac{\partial W}{\partial x}+N_{xy}\frac{\partial W}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(N_y\frac{\partial W}{\partial y}+N_{xy}\frac{\partial W}{\partial x}\right)+$$

$$+\frac{\partial Q_x}{\partial x}+\frac{\partial Q_y}{\partial y}+q-\rho(h+\bar{F})\frac{\partial^2 W}{\partial t^2}=0;$$

$$\frac{\partial M_x}{\partial x}+\frac{\partial M_{xy}}{\partial y}-Q_x-\rho\left[\bar{S}\frac{\partial^2\bar{U}}{\partial t^2}+\left(\frac{h^3}{12}+\bar{J}\right)\frac{\partial^2\psi_x}{\partial t^2}\right]=0;$$

$$\frac{\partial M_y}{\partial y}+\frac{\partial M_{xy}}{\partial x}-Q_y-\rho\left[\bar{S}\frac{\partial^2 V}{\partial t^2}+\left(\frac{h^3}{12}+\bar{J}\right)\frac{\partial^2\psi_y}{\partial t^2}\right]=0; \quad (19)$$

Из вариационного уравнения (18) получаем естественные краевые условия:

- при $x=-a$ и $x=a$

$N_x=0$ или $U=0$, $N_{xy}=0$ или $V=0$,

$N_x\frac{\partial W}{\partial x}+N_{xy}\frac{\partial W}{\partial y}+Q_x=0$ или $W=0$,

$M_x=0$ или $\psi_x=0$, $M_{xy}=0$ или $\psi_y=0$;

- при $y=-b$ и $y=b$

$N_{xy}=0$ или $U=0$, $N_y=0$ или $V=0$,

$N_y\frac{\partial W}{\partial y}+N_{xy}\frac{\partial W}{\partial x}+Q_y=0$ или $W=0$,

$M_{xy}=0$ или $\psi_x=0$, $M_y=0$ или $\psi_y=0$.

Из вариационного уравнения (18) получаем также и начальные условия при $t = t_0$:

$$(h+\overline{F})\frac{\partial U}{\partial t}+\overline{S}\frac{\partial \psi_x}{\partial t}=0 \text{ или } U=0;$$

$$(h+\overline{F})\frac{\partial V}{\partial t}+\overline{S}\frac{\partial \psi_y}{\partial t}=0 \text{ или } V=0;$$

$$\frac{\partial W}{\partial t}=0 \text{ или } W=0;$$

$$\overline{S}\frac{\partial U}{\partial t}+[(h^3/12)+\overline{J}]\frac{\partial \psi_x}{\partial t}=0 \text{ или } \psi_x=0;$$

$$\overline{S}\frac{\partial \overline{V}}{\partial t}+[(h^3/12)+\overline{J}]\frac{\partial \psi_y}{\partial t}=0 \text{ или } \psi_y=0.$$

Полученные уравнения движения (19) пологих ортотропных и изотропных ребристых оболочек учитывают геометрическую нелинейность, дискретность расположения ребер (или вырезов), их ширину, сдвиговую и крутильную жесткость ребер, а также эффект поперечных сдвигов и инерции вращения. Кроме того, уравнения (19) позволяют учитывать нелинейную упругость, а также возможные деформации ползучести материала.

Литература

1. Жгутов В.М. Нелинейные свободные колебания пологих оболочек ступенчато-переменной толщины: Дисс. … канд. техн. наук: 05.23.17. СПб., 2004.
2. Жгутов В.М. Метод конструктивной анизотропии для ортотропных и изотропных ребристых оболочек. // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – №8. – Доступ в сети Интернет //http://www.engstroy.spb.ru/index 2009 08/zhgoutov1.html.
3. Нелинейные математические модели деформирования оболочек переменной толщины и алгоритмы их исследования: Учебное пособие // В.В. Карпов, О.В. Игнатьев, А.Ю. Сальников. М., СПб., 2002.
4. Жгутов В.М. Прочность и устойчивость упругих ортотропных и изотропных ребристых оболочек. I // Инженерно-строительный журнал. – 2009. – №7.– Доступ в сети Интернет //http://www.engstroy.spb.ru/index 2009 07/zhgoutov1.html.
5. Жгутов В.М. Математическая модель деформирования ортотропных и изотропных ребристых оболочек при учете ползучести материала // Инженерно-строительный журнал. – 2009.– №7. – Доступ в сети Интернет //http://www.engstroy.spb.ru/index 2009 07/zhgoutov1.html.
6. Жгутов В.М. Анализ различных подходов к исследованию ползучести в материале ребристых пологих оболочек // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2010. – № 1. М., 2010.
7. Жгутов В.М. Анализ различных подходов к формированию расчетных уравнений в компьютерном моделировании упруговязких ребристых оболочек // «Особенности проектирования и расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и прогрессирующее разрушение»: Научная сессия МОО «Пространственные конструкции» и научного совета РААСН «Пространственные конструкции зданий и сооружений»: Сборник статей. Москва, 14 апреля 2009 года, НИИЖБ. М., 2009.
8. Жгутов В.М. Математическая модель деформирования нелинейно-упругих ребристых оболочек при больших перемещениях // Инженерно-строительный журнал.– 2009. – №6. – С.16–24. – Доступ в сети Интернет //http://www.engstroy.spb.ru/index 2009 06/zhgoutov.html.
9. Жгутов В.М. Математическая модель, алгоритм исследования и анализ устойчивости нелинейно-упругих ребристых оболочек при больших перемещениях // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2009.–№ 4. Спб., 2009.
10. Жгутов В.М. Устойчивость ребристых пологих оболочек при учете геометрической и физической нелинейностей // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2009. – № 4.
11. Жгутов В.М. Устойчивость упругопластических ребристых оболочек при больших перемещениях // «Особенности проектирования и расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и прогрессирующее разрушение»: Научная сессия МОО «Пространственные конструкции» и научного совета РААСН «Пространственные конструкции зданий и сооружений»: Сборник статей. Москва, 14 апреля 2009 года, НИИЖБ. М., 2009.
12. Жгутов В.М. Устойчивость железобетонных ребристых оболочек при учете геометрической и физической нелинейностей // Популярное бетоноведение. – 2009. – № 6. Спб., 2009.

**Владимир Михайлович Жгутов, Санкт-Петербург*

Тел. раб.: +7(812)378-20-83; эл. почта: abc_kitezh@mail.ru

Релиз конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий»

В Санкт-Петербурге в рамках **Первого Международного конгресса «Энергоэффективность. XXI век»** состоялась **II Всероссийская научно-техническая конференция «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций зданий».**

Конференция прошла 10-11 декабря 2009 г. в «ЛенЭкспо» и была посвящена практическим мерам по повышению энергоэффективности жилищного, административного и промышленного строительства, проблемам реализации национальной программы «Доступное и комфортное жилье гражданам России», повышению качества жилища в целом.

Организаторами конференции выступили: ГОУ ВПО СПбГПУ, НП «АВОК Северо-Запад», ООО «АлгоритмСтрой», ПНИПКУ «Венчур», НИУПЦ «Межрегиональный институт окна», ОАО «СПбЗНИиПИ».

Организационный комитет конференции:

- Гагарин Владимир Геннадьевич – д.т.н., профессор, заведующий лабораторией Строительной теплофизики НИИСФ РААСН, член президиума НП АВОК;
- Кнатько Михаил Васильевич – к.ф.-м.н., заместитель генерального директора по науке ОАО «СПбЗНИиПИ»;
- Ватин Николай Иванович – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология, организация и экономика строительства» ГОУ СПбГПУ;
- Дацюк Т.А. – д.т.н., профессор, декан факультета инженерно-экологических систем ГОУ СПбГАСУ;
- Гримитлин А.М. – д.т.н., профессор, президент НП «АВОК Северо-запад», член президиума НП «АВОК».

Целью конференции было обсуждение текущих проблем, возникающих на пути повышения энергоэффективности зданий, вынесение выявленных проблем на федеральный уровень, разработка способов и рекомендаций их устранения. Для этого были приглашены ведущие специалисты крупнейших научных институтов, образовательных центров и государственных учреждений РФ. Среди них – НИИСФ РААСН, ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко, ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, ВНИИСТРОМ им. П.П.Будникова, НП «АВОК», Российского Общества Инженеров Строительства (РОИС), МАрхИ, КазГАСУ, ЛенНИИПРОЕКТ, СПбЗНИиПИ, СПбГАСУ, СПбГУ, СПбГПУ (Политехнический университет), Военно-Космической Академии им. А.Ф. Можайского, ВИТУ, НИУПЦ «Межрегиональный институт окна», НТЦ «Технологии XXI века» и ряд других организаций, в том числе Проектные Институты и Испытательные Центры, занимающиеся разработкой экспериментальных, теоретических и методических основ в области энергоэфффективности зданий, строительной теплотехники и теплофизики.

Помимо перечисленных российских научно-исследовательских, проектных и общеобразовательных учреждений в конференции приняли участие гости из Украины (ГП «НИИСМИ») и Финляндии (VTT Technical Research Centre of Finland), что в немалой степени способствовало обмену опытом между российскими специалистами и их коллегами из других стран.

Итоги и решения конференции (Приложение I) доведены до сведения Правительства России, Министерства регионального развития, Центра методологии нормирования и стандартизации в строительстве, учебных ВУЗов, проектных и специализированных научных организаций.

На конференции было представлено 30 основных докладов, составивших сборник трудов конференции: **«Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций»:** сборник трудов II Всероссийской научно-технической конференции. 10-11.12.2009. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009.-156 с., который был разослан во все специализированные ВУЗы Российской Федерации.

ПРИЛОЖЕНИЕ I. Основные итоги и решения II Всероссийской научно-технической конференции «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций»

Повышение требований к уровню тепловой защиты зданий, обозначенные вначале путем внесения изменений №3 к СНиП II-3-79* «Строительная теплотехника», а затем и в СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», было непропорциональным. Оно не привело к заметному увеличению энергоэффективности ограждающих конструкций. Потери энергии на отопление зданий остаются значительными. Связано это с тем,

что в современных зданиях значительное количество энергии расходуется на вентиляцию, и кроме того, большое количество теплопотерь приходится на оконные конструкции (особенно при высокой степени остекленности фасадов) и теплопроводные включения стеновых конструкций. Высокая теплотехническая неоднородность современных ограждающих конструкций приводит к тому, что фактические теплопотери через стены могут значительно превышать расчетные.

Многие типы стеновых конструкций с более высокими показателями тепловой защиты оказываются неремонтопригодными, а применяемые в их составе материалы — недолговечными. Затраты на проведение капитальных ремонтов недолговечных ограждающих конструкций зданий могут частично или полностью компенсировать то уменьшение эксплуатационных расходов, которое обеспечивается за счет увеличения их теплозащитных качеств. При этом затраты на капитальный ремонт зданий по сути представляют собой затраты энергии: на производство новых строительных материалов, на транспортирование и доставку этих материалов к объектам строительства или реконструкции, на работу машин и механизмов и т.д. В этой связи не только уровень тепловой защиты ограждающих конструкций, но и показатели их капитальности (долговечности) следует относить к критериям энергоэффективности.

Результаты обсуждения докладов и выступлений участников можно представить в следующих основных решениях конференции:

1. Сопротивление теплопередаче для стен и покрытий не увеличивать.

2. В качестве основного способа для дальнейшего повышения энергоэффективности современных зданий избрать сокращение затрат энергии на вентиляцию помещений при соблюдении требований к показателям уровня комфорта и микроклимата в них. Более широко и интенсивно использовать в строительстве энергоэффективное инженерное оборудование, системы вентиляции воздуха, рекуперации тепловой энергии вентиляционных потоков воздуха, автоматизации систем отопления и кондиционирования воздуха, т.е. повышать энергоэффективность зданий инженерными методами.

3. Установить зависимость между сопротивлением теплопередаче и классом капитальности (долговечности) ограждающих стеновых конструкций. Для стеновых конструкций с более низким классом капитальности установить более высокие требования к уровню тепловой защиты.

4. Во всех проектах учитывать степень теплотехнической неоднородности ограждающих конструкций. Разработать технические решения, направленные на снижение теплопотерь через оконные откосы, диски плит перекрытий (для самонесущих стен монолитно-каркасных зданий), места опирания плит перекрытий на стены (для несущих стен зданий).

5. Увеличить требования к сопротивлению теплопередаче окон. При этом данные требования необходимо сделать прогрессивными, — в зависимости от степени остекленности фасадов: чем выше степень остекленности фасадов, тем выше требования к сопротивлению теплопередаче окон.

6. Разработать методику оценки требуемого сопротивления теплопередаче для стен, покрытий и окон строящихся и реконструируемых зданий на основе метода приведенных затрат, учитывающего капитальные вложения и эксплуатационные расходы в течение заданного промежутка времени, например 30 лет после начала строительства или реконструкции.

7. Усилить контроль за соблюдением в строительстве проектных параметров тепловой защиты, норм потребления зданиями энергии. Установить требования и разработать методики оценки соответствия расчетных и фактических показателей энергопотребления зданиями.

Все вышеобозначенные требования наиболее полно могут быть реализованы в рамках потребительского (или компенсационного) подхода к нормированию показателей тепловой защиты, когда в качестве основного нормируемого параметра тепловой защиты выступают удельные затраты энергии на отопление с метра квадратного общей площади или с метра кубического строительного объема здания (показатель «в» параметров тепловой защиты зданий по СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий»). Усиление контроля за соблюдением норм потребления зданиями энергии позволит установить фактические показатели суммарных теплопотерь зданий; выявить ограждающие конструкции, наиболее полно удовлетворяющие этим требованиям; поэтапно, по мере внедрения энергоэффективных мероприятий, уменьшать установленные нормы потребления энергии на отопление с целью снижения параметров энергопотребления зданиями.

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»
Инженерно-строительный факультет

Отделение повышения квалификации и профессиональной переподготовки

Профессиональная переподготовка специалистов

Программа предназначена для специалистов строительных и проектных организаций, не имеющих базового строительного образования, а также для лиц, желающих получить дополнительное образование по направлению «Строительство».
Форма обучения вечерняя. По окончании обучения выдается диплом о переподготовке государственного образца с правом на ведение нового вида профессиональной деятельности. Программа рассчитана на 500 ак. часов, обучение проводится в течение одного учебного семестра.
Стоимость обучения 46000 рублей.
Переподготовка ведется по четырем направлениям:

Строительство зданий и сооружений	Экономика и управление в строительстве
▪ *Строительные конструкции и материалы* ▪ *Выполнение строительно-монтажных работ* ▪ *Контроль качества строительно-монтажных работ* ▪ *Управление строительной организацией* ▪ *Функции участников инвестиционно-строительного проекта* ▪ *Основы расчета строительных конструкций* ▪ *Проектирование зданий и сооружений с использованием современных программных продуктов*	▪ *Основы строительного дела* ▪ *Технология строительного производства и системы управления качеством в строительстве* ▪ *Основные функции участников инвестиционно-строительного проекта* ▪ *Функции заказчика-застройщика* ▪ *Управление строительной организацией* ▪ *Сметное дело в строительстве* ▪ *Календарное и сетевое планирование в строительстве с использованием MS Project*
Проектирование и конструирование зданий и сооружений	**Инженерные системы зданий и сооружений**
▪ *Основы сопротивления материалов и механики стержневых систем* ▪ *Проектирование и расчет оснований и фундаментов зданий и сооружений* ▪ *Проектирование и расчет железобетонных конструкций* ▪ *Проектирование и расчет металлических конструкций* ▪ *Проектирование зданий и сооружений с использованием AutoCAD* ▪ *Расчет строительных конструкций с использованием SCAD Office*	▪ *Основные понятия механики жидкости и газа* ▪ *Системы вентиляции и кондиционирования. Проектирование, монтаж и эксплуатация* ▪ *Системы отопления. Проектирование, монтаж и эксплуатация* ▪ *Системы водоснабжения и водоотведения. Проектирование, монтаж и эксплуатация* ▪ *Проектирование и монтаж систем электроснабжения* ▪ *Проектирование инженерных сетей и систем с использованием современных программных продуктов*