

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»
(ПГУАС)

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И НАРУЖНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ
КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ
ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОВОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ**

Пенза 2014

УДК 721.011:[620.97:624.01]

ББК 38.4 + 31.19 + 38.39

Б48

Рецензенты: доктор технических наук, профессор П.В. Монастырев (Тамбовский государственный технический университет); кандидат технических наук, профессор И.С. Гучкин (Пензенский государственный университет архитектуры и строительства)

Авторы: А.М. Береговой, В.А. Береговой, А.В. Мальцев, А.В. Гречишкин, М.А. Дерина

Береговой А.М.

Б48 Строительные материалы и наружные ограждающие конструкции зданий повышенной тепловой эффективности: моногр. / А.М. Береговой [и др.]. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 180 с.

ISBN 978-5-9282-1143-1

Рассмотрены новые теплоизоляционные строительные материалы для энергоэффективных наружных ограждений, их традиционные и усовершенствованные конструктивные решения, а также способы восстановления теплозащитных и других эксплуатационных свойств этих конструкций. Принципы архитектурно-строительного проектирования наружных ограждений изложены с учетом воздействия на них факторов единой энергетической и экологической системы здания.

Приводятся результаты научных исследований авторов по созданию новых энергосберегающих строительных материалов и по совершенствованию теплозащитных качеств наружных ограждающих конструкций.

Книга предназначена для преподавателей, аспирантов и студентов строительных вузов, для научных и инженерно-технических сотрудников проектных и строительных организаций.

ISBN 978-5-9282-1143-1

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2014

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основная цель монографии заключается в том, чтобы создать целостную картину по всему циклу «изготовление строительного материала – проектирование – возведение – техническая эксплуатация и восстановление ограждающих конструкций», а также раскрыть взаимосвязь вопросов проектирования и эксплуатации ограждающих конструкций с актуальными проблемами экономии топливно-энергетических ресурсов и улучшения экологии среды проживания.

В монографии рассматриваются способ получения и технология изготовления эффективных теплоизоляционных стеклокристаллических материалов, традиционные и усовершенствованные конструктивные решения наружных ограждений, а также пути восстановления теплозащитных и других эксплуатационных свойств этих конструкций. Принципы архитектурно-строительного проектирования наружных ограждений изложены с учетом воздействия на них факторов единой энергетической и экологической системы здания.

Результаты работ по созданию новых строительных материалов, повышению энергосберегающей функции ограждающих конструкций путем регулирования физических процессов тепломассопереноса (разд. 1, 2, 4) основываются на собственных научных исследованиях авторов, выполненных на кафедрах «Технологии строительных материалов и деревообработки», «Городское строительство и архитектура» в 2013–2014 гг.

Полученные составы теплоизоляционных строительных конгломератов на керамических и стеклокристаллических связках, отличающиеся оптимальным сочетанием эксплуатационных свойств и потенциалом совершенствования, составляют одну из наиболее перспективных групп. Они характеризуются доступностью сырьевой базы, возможностью широкой корректировки составов для придания требуемых технико-экономических показателей, экологичностью готовых изделий, а также высокой стойкостью к воздействию химических веществ, воды и высоких температур. Использование этих материалов в наружных ограждениях зданий позволяет обеспечить как необходимые теплоизоляционные свойства конструкции, так и благоприятное сочетание параметров воздухо- и паропроницаемости, которые могут регулироваться в стадии изготовления материала и дают возможность формировать комфортный микроклимат внутренних помещений.

В книге большое внимание уделено наружным ограждающим конструкциям в виде стен, светопрозрачных ограждений, крыш (покрытий), в значительной мере обеспечивающим теплозащиту зданий и влияющим на формирование микроклимата помещений.

В нашей стране и за рубежом проводятся многочисленные интенсивные исследования, направленные в основном на изыскание легких и энергоэкономичных ограждающих конструкций, отличающихся малой трудо-

емкостью возведения, долговечностью и ремонтпригодностью. Наружные ограждающие конструкции занимают важное место в архитектурно-строительной структуре здания и играют особую роль в решении проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Стоимость ограждающих конструкций составляет примерно 50 % от стоимости всех строительных конструкций здания, на них приходится почти 80 % расходов на текущие и капитальные ремонты. Доля ограждающих конструкций в общем объеме трудозатрат на возведение здания составляет около 45 %. Стоимость же всех построенных зданий и сооружений в нашей стране составляет уже более 50 % основных фондов народного хозяйства.

Вопросы сбережения ТЭР – важнейшая проблема экономики развитых стран мира. Огромное количество тепловой энергии расходуется на различные нужды в эксплуатируемых зданиях и сооружениях. Система теплоснабжения только гражданских зданий потребляет до 30 % добываемого в нашей стране твердого и газообразного топлива.

Наиболее эффективный путь экономии ТЭР в капитальном строительстве – повышение уровня теплозащиты зданий, снижение теплопотерь через ограждающие конструкции и в системе вентиляции.

Вопросы экономии топливно-энергетических ресурсов являются важнейшими проблемами экономики большинства развитых стран мира. Производство тепловой энергии, потребление которой возрастает примерно на 3 % в год, оказывается недостаточным для покрытия всё возрастающих потребностей человеческого общества.

Половина добываемого в стране органического топлива используется на производство тепловой и электрической энергии. При этом 45 % тепловой и около 12 % электрической энергии расходуется в жилищно-коммунальном секторе городов и сельских населенных мест. На отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение гражданских и промышленных зданий в нашей стране расходуется 40 % котельно-печного топлива. Такой большой расход тепловой энергии в жилищно-коммунальном секторе является недопустимым, так как ощущается острая ее нехватка в других отраслях народного хозяйства.

В эксплуатируемых гражданских и некоторых промышленных зданиях основная доля затрат тепла обусловлена теплопотерями через ограждающие конструкции. В преобладающей части промышленных зданий на компенсацию теплопотерь через ограждающие конструкции приходится в среднем лишь 25 % всех энергозатрат на эти здания. Только за счет улучшения теплоизоляционных свойств ограждений достигается снижение теплопотерь в здании на 20–40 %. С учетом длительного срока эксплуатации зданий это может дать в целом по стране значительную экономию топливно-энергетических ресурсов и уменьшить экологический ущерб от извлечения из недр и сжигания сотен миллионов тонн топлива.

1. ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

1.1. Мировой опыт и современные тенденции производства теплоэффективных обжиговых строительных материалов

Ускоренное развитие технологий производства теплоэффективных материалов с ориентацией на преимущественное использование дешевых местных минерально-сырьевых ресурсов дает возможность существенного роста стройиндустрии за счет увеличения объемов строительства доступного жилья. Важнейшие задачи, от решения которых зависит конкурентоспособность таких материалов, заключаются в повышении механических показателей, снижении средней плотности, теплопроводности и гигроскопичности, а также производственных и материальных затрат.

По сочетанию эксплуатационных свойств и потенциалу совершенствования теплоизоляционные строительные конгломераты на керамических и стеклокристаллических связках составляют одну из наиболее перспективных групп. К характерным положительным качествам «легкой» керамики относятся доступность сырьевой базы, возможность широкой корректировки составов для придания требуемых технико-экономических показателей, а также высокая стойкость к воздействию химических веществ, воды и высоких температур в сочетании с экологичностью готовых изделий. В качестве дополнительного преимущества пористой керамики, которое проявляется при ее использовании в ограждающих конструкциях зданий, выступает благоприятное сочетание параметров воздухо- и паропроницаемости, обеспечивающих создание и поддержание комфортного микроклимата внутренних помещений.

Ввиду большого числа работ в области ячеистых обжиговых материалов анализ состояния вопроса с целью установления уровня технико-экономических показателей, обеспечивающих создание конкурентоспособных композитных материалов на керамической и стеклокристаллической матрице, целесообразно проводить по важнейшим классификационным признакам – типу минерального сырья и способу формирования пористой структуры.

В качестве сырья для производства пористых керамических изделий строительного назначения (легковесов) традиционно применяют легкоплавкие глины – высокопластичные алюмосиликатные горные породы. Использование нетрадиционного керамического сырья крайне ограничено: имеются единичные производства, применяющие в этом качестве кремнеземистые горные породы – диатомит или трепел. Очевидно, что правильный выбор сырья является главным условием для получения качественного

легковеса, предопределяет его групповую принадлежность и определенное сочетание показателей технологических, физических, химических и механических свойств.

1.2. Изделия на основе глиняного сырья

Современные методы анализа и критерии оценки качества глиняного сырья для производства изделий различного назначения, закономерности формирования структуры и свойств обжиговых конгломератов рассмотрены в классических трудах отечественных и зарубежных ученых, а также в научно-технической литературе [1–6]. Научные представления о методах проектирования составов керамических шихт, способах порообразования в технологии облегченной керамики на основе глиняных смесей нашли отражение в работах [4–11].

В настоящее время разработаны технические решения, направленные на получение различных по составу и функциональному назначению видов пористой керамики, причем, как показал проведенный анализ научно-технической информации [12], в последние годы количество патентуемых изобретений по данной тематике активно увеличивается.

Детальное рассмотрение существующих решений позволило сделать вывод о том, что для изготовления пористых изделий на основе глинистого сырья применяют все известные способы создания пористой структуры. Поэтому анализ состояния техники и технологии в исследуемой области целесообразно проводить с учетом технологических аспектов процесса получения пористых материалов из глиносодержащих шихт, а полученные закономерности экстраполировать на аналогичные материалы на основе нетрадиционного керамического сырья.

Способ вспучивания при термической обработке хорошо изучен и широко применяется при получении зернистых теплоизоляционных керамических материалов – керамзитового гравия, аглопоритового щебня и др. В основе технического решения лежит способность отдельных типов глин заметно увеличиваться в объеме при быстром нагревании до температур обжига [8]. Производство пористых материалов способом вспучивания сопряжено с рядом технологических трудностей: необходимостью контроля параметров температуры и состава газовой среды, соблюдения временных интервалов процесса обжига, протекающего по схеме «быстрый нагрев – кратковременная выдержка – медленное охлаждение».

Технико-экономическая эффективность материалов, получаемых способом высокотемпературного вспучивания, обусловлена минерально-фазовым составом сырья, который должен обеспечивать лёгкую вспучиваемость изделий в температурном интервале 950–1100 °С. В естественных условиях подходящие глины встречаются редко, поэтому на практике их

состав корректируется добавками, способствующими синхронизации процессов газообразования и формирования в обжигаемой смеси оптимального количества пиропластичной массы.

Изделия и конструкции из керамзитового гравия, обладая рядом положительных качеств (морозостойкость, прочность, сцепление с раствором, тепло- и звукоизоляционные свойства), имеют и значительный недостаток – ограничение по максимальному размеру. Это вызывает необходимость его совмещения с вязкими веществами при устройстве монолитных теплоизоляционных слоёв или при изготовлении стеновых изделий [5].

К настоящему времени разработаны способы получения плитных материалов из керамзитового или стеклокерамического гравия, основанные на объемном формовании изделий в перфорированных формах из жаростойкого металла, протекающем при вторичном обжиге [13].

По такой технологии производят блоки «Редоксид» с максимальными размерами 400×250×200 мм из пористой керамики. Согласно опубликованным данным [14] гранулы из глинистого сырья с размерами 10 мм высушивают до 3 %-й влажности, а затем укладывают слоями толщиной 70 мм в формы из жаростойкой стали. Формы снабжены плавающими крышками, служащими пригрузом для гранул при их вспучивании. Обжиг гранул, уложенных в формах, осуществляют в следующем порядке: нагрев до 220 °С со скоростью 2,0 °С/мин; изотермическая выдержка в течение 30 мин; нагрев со скоростью 30 °С/мин до нижней границы начала вспучивания гранул (1050...1100 °С); изотермическая выдержка в течение 20 мин; подъем температуры до 1150 °С; изотермическая выдержка в течение 110 мин; снижение температуры до 1000 °С за 10 мин; изотермическая выдержка в течение 40 мин; охлаждение до 20...60 °С. После обжига изделия извлекают из форм и отправляют на механическую обработку для придания заданных размеров. Свойства материала характеризуются следующими показателями: средняя плотность 200...240 кг/м³; прочность при сжатии 0,5...1,0 МПа; общая пористость 77...95 %; максимальный размер пор 30 мм; водопоглощение 35...37 %; морозостойкость 100 циклов.

Аглопорит получают обжигом шихты из глинистых пород (суглинок, супесь, аргиллит, глинистый сланец с размером зерен до 12 мм), топлива (отходы от добычи, обогащения и сжигания углей с максимальным размером зерен до 3 мм) и воды. Шихту загружают на решетку агломерационной машины. Технологическое топливо в шихте зажигают с поверхности при одновременном продуве воздуха сверху вниз. Спек, образующийся в верхней части загруженного слоя, постепенно перемещается вниз до колосниковой решетки. Скорость нагрева материала на вертикально замкнутых агломерационных решетках составляет 400...600 °С/мин, температура обжига 1400...1700 °С, а время изотермической выдержки в зоне высоких температур – 1...1,5 мин. Аглопорит получают в виде коржей, перерабатывае-

мых на щебень с открытыми порами, или в виде гранул со спекшейся поверхностью.

Очевидными недостатками указанных выше технологий являются сложность управления процессами пиропластического вспучивания, а также металло- и энергоемкость производства, что ограничивает широкое применение данного способа изготовления пористых керамических плит.

Способ введения выгорающих добавок является наиболее доступным по технологическому оснащению и практическому исполнению, но имеет существенный недостаток – общая пористость получаемых легковесов ограничена 60...65 %. В указанных пределах этот способ позволяет легко регулировать среднюю плотность материала, при этом не требуется избыточного увлажнения массы, вследствие чего термическую обработку сырца производят по ускоренному режиму.

Пористость изделий зависит от вида, содержания и размера выгорающих частиц, в качестве которых применяют углеродсодержащие вещества (угольный порошок, древесные опилки, мазут и др.). Обжиг подобной керамики производят в окислительной среде до полного выгорания вводимой добавки [1, 8]. Максимально достижимая пористость материала ограничена порогом предельно допустимого содержания выгорающих компонентов, превышение которого сопровождается частичным разрушением пористой структуры и снижением эксплуатационных показателей материала.

Современная тенденция в развитии способа выгорающих добавок заключается в увеличении величины максимальной пористости до 80...85 %. Для этого в качестве порообразователей используют вспененные полимеры. Такое техническое решение реализовано в зарубежной практике: с использованием гранулированного пенополистирола выпускают изделия «Poroton» (Германия) [15].

В работе В.В. Ефимова и Н.И. Беломеря предложен способ получения высокопористой керамики с использованием пенополиуретановой основы, пропитанной керамическим шликером, содержащим шамот, глину и жидкое стекло. Прочность керамики составляет 5...10 МПа, плотность при сжатии 150...210 кг/м³, а пористость 90...96 %.

Технология с использованием выгорающих добавок не требует разработки и применения принципиально нового оборудования и легко реализуется в условиях действующих заводов по выпуску керамического кирпича. Однако получение изделий плотностью менее 800 кг/м³ вызывает множество сложных технологических задач, связанных с ужесточением требований к глинистому сырью, а также с дополнительным измельчением и более равномерным распределением выгорающих частиц. В высокопористой керамике зачастую формируется сеть микротрещин и слабых контактов, которая обуславливает ухудшение показателей прочности, водопроницаемости и химической стойкости. Использование полимерных выгорающих до-

бавок позволяет существенно улучшить эксплуатационные показатели керамики, но ограничено требованиями соблюдения экологических норм и существенным удорожанием готовой продукции.

Способ газообразования. В НИИкерамзита, НГАСУ, СГАСУ, МГСУ разработаны различные виды газокерамических изделий со средней плотностью $500 \dots 800 \text{ кг/м}^3$ на цементных, гипсовых, известковых, цеолитовых и других связках, роль которых сводится к фиксации параметров ячеистой структуры сырцовой массы.

В НГАСУ проведены исследования по влиянию минералогического состава используемых глин и технологических параметров на свойства газокерамики. Завадским В.Ф. установлено влияние минералогического состава глинистых пород Новосибирской области, вязкости и температуры глинистого шликера на коэффициент вспучивания и величину средней плотности газокерамики. В результате проведённых исследований получены лёгкие керамические материалы с плотностью $500 \dots 700 \text{ кг/м}^3$, прочностью при сжатии $1,5 \dots 4,0 \text{ МПа}$ и коэффициентом теплопроводности $0,18 \dots 0,3 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$. В качестве основных компонентов составов разработанной газокерамики были использованы каолининовые массы с добавлением $10 \dots 15 \%$ цеолита в сочетании с алюминиевым газообразователем и известью.

С применением метода газообразования в Томском политехническом университете под руководством Верещагина В.И. разработаны составы и технология изготовления блочных теплоизоляционных керамических материалов на основе композиций глин с техногенным силикатным сырьём. Прочность при сжатии полученных газокерамических блоков составила $1,3 \dots 5,2 \text{ МПа}$ при плотности $320 \dots 750 \text{ кг/м}^3$. Для осуществления процесса низкотемпературного вспенивания авторами был использован NaOH или высококальциевая зола в сочетании с алюминиевым газообразователем ПАП-2. В качестве корректирующих добавок, обеспечивающих вспучивание, а также повышающих прочностные свойства сырца и готового материала, применяли волластонит, жидкое стекло, бутадиенстирольный латекс. При проведении исследований предполагалось, что щелочные компоненты способны оказывать существенное влияние на прочность ячеистого сырца за счет физико-химического и химического взаимодействия с минералами глинистых пород, протекающего в процессе перемешивания с водой и на этапе последующего естественного твердения [16].

В Германии в промышленных масштабах изготавливают газокерамические изделия под маркой «Siporton». Ячеистая структура материала формируется в результате термической обработки вспучивающейся сырьевой массы, при которой происходит взаимное спекание отдельных слоёв. При средней плотности $300 \dots 800 \text{ кг/м}^3$ изделия «Siporton» характеризуются

прочностью при сжатии 2,5...12,5 МПа, коэффициентом теплопроводности 0,11...0,2 Вт/(м·°С), высокой атмосферо- и огнестойкостью.

В последнее время широкое применение в зарубежных технологиях по производству ячеистой керамики находит способ пенообразования.

Для изготовления пенокерамики в качестве сырьевых компонентов используют глины с низкой чувствительностью к сушке, отошающие добавки (шамот, зола-унос), разжижители и пенообразователи [17]. Обжиг вспененного сырца производят при температурах 900...1100 °С, после которого изделия калибруют с целью придания правильной геометрической формы. Размеры выпускаемых пенокерамических плит, как правило, не превышают 600×600×80 мм.

Во Франции [17, 18] изготавливают армированную пенокерамику, получаемую из шихты на основе молотой глины и шамота с добавлением стекловолокна длиной до 500 и диаметром до 13 мкм (содержание армирующих волокон 0,12...0,6 % по массе). После заливки в формы изделия сушат в течение 11...23 часов, а затем распалубливают и обжигают при температуре 1050 °С. Изделия имеют среднюю плотность 800 кг/м³, прочность при сжатии 4,0 МПа и водопоглощение по объему 40...45 %.

В Польше получена пенокерамика со средней плотностью 800 кг/м³, прочностью при сжатии и при изгибе, соответственно, 4,0 МПа и 1,63 МПа, водопоглощением 42 % и теплопроводностью 0,2 Вт/(м·°С) [18].

На предприятиях керамической отрасли США в производстве облегченных крупноразмерных плит применяется модификация способа пенообразования – метод аэрации [18]. Исходная сырьевая смесь состоит из глины, шамота, разжижителя ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ в количестве от 0,5 до 1,5 %) и синтетического пенообразователя (1 %). С целью упрочнения сырца во вспененный шликер добавляют до 15 % гипсового связующего. Изделия сушат в течение 60 часов, а затем обжигают в течение 24 часов. Максимальная температура обжига составляет 1100 °С. Получаемые изделия характеризуются следующими свойствами: средняя плотность 860...930 кг/м³; прочность при сжатии 5,6...10,3 МПа; водопоглощение (по массе) 35...50 %.

В Японии для пенокерамики применяют смесь, состоящую из 70 % шамота и 30 % глины с добавлением 15 % уретановой смолы (от массы минеральных компонентов). Недостаток используемых составов заключается в высокой плотности пенокерамики и использовании дорогостоящего полимерного стабилизатора [18].

Критический анализ опубликованных работ позволил выделить следующие отечественные научно-технические разработки в этой области.

В КазГАСУ получены эффективные пенокерамические изделия плотностью 420...870 кг/м³, прочностью при сжатии 2,1...5,4 МПа и теплопроводностью 0,087...0,12 Вт/(м·°С). В сырьевую смесь вводили корректирующие добавки: отошитель (молотый бой керамического кирпича); поро-

образователь (древесные опилки); пластификатор (С-3); стабилизатор (ПЦ 500 Д0); плавень (молотое и жидкое стекло). Рабочую смесь вспенивали путем совмещения пены, изготовленной на основе раствора пенообразователя «Пеностром», и глиняного шликера. После заливки в формы пеноглиняную массу высушивали при температуре 40...60 °С в течение 24 часов и обжигали при температуре 980...1050 °С в течение 12 часов [19].

В МГСУ были разработаны составы пенокерамических материалов для устройства теплоизоляционных слоев, а также для изготовления несущих и самонесущих стеновых конструкций в малоэтажном строительстве со следующими физико-техническими характеристиками: общая линейная усадка 10 %, средняя плотность 450...850 кг/м³, общая пористость 65...80 %, теплопроводность 0,13...0,17 Вт/(м·°С), предел прочности при сжатии 3,3...8,5 МПа, морозостойкость свыше 50 циклов. Отличительной особенностью разработанной технологии является формирование устойчивой сырцово-структуры за счёт регулирования процессов коагуляции глинистой составляющей в пористой керамической массе [20].

В Пензенском ГУАС [21] были разработаны составы жаростойкой пенокерамики. В качестве исходных компонентов использовались высокоглинозёмистый цемент, монтмориллонитовые глины, шамотный или динасовый наполнитель, пенообразователь и полимерные добавки. В качестве стабилизаторов пеномассы применялись полиакриламид, а также смесь карбамидной смолы и поливинилацетатной эмульсии. Полученные материалы предназначены для изготовления теплоизолирующих слоев конструкций термических печей с максимальной температурой эксплуатации до 1200 °С. Они характеризуются следующим комплексом свойств: средняя плотность 350...450 кг/м³; прочность при сжатии 1,1...1,5 МПа; термостойкость 15 воздушных теплосмен; теплопроводность 0,09...0,13 Вт/(м·°С); теплоёмкость 0,64...0,72 кДж/(кг·°С).

Перспективы развития пористой керамики на основе глинистого сырья сконцентрированы в двух направлениях:

- первое включает разработку приемов, обеспечивающих формирование более качественной ячеистой структуры за счет минимизации водотвердого отношения сырцово-массы;
- второе связано с физико-химической активацией минеральной основы сырца с целью реализации ее способности к самостоятельному твердению без добавления вяжущих веществ.

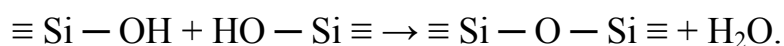
Первое направление может быть практически реализовано путем применения комбинированных способов формирования параметров макроструктуры. Одним из наиболее перспективных является газопенный способ, в основе которого лежит сочетание процессов аэрирования пенокерамического шликера и его последующего вспучивания уже в формовочной оснастке, происходящего в результате химического взаимодействия с газообразователем.

Вследствие пластифицирующего действия пенообразующего ПАВ улучшаются реологически зависимые технологические характеристики сырьевых смесей. В результате предотвращаются процессы «кипения» и оседания пеномассы, повышается ее газодерживающая способность, что в конечном счете позитивно отражается на показателе однородности пористой структуры готового материала.

Второе направление. Физико-химическая активация глинистого сырья с целью образования устойчивой коагуляционной структуры пенокерамического сырца [20]. В качестве коагулирующей добавки используют CaO, NaOH, HCl, NH₄OH или цемент. По мнению разработчиков, одним из основных факторов, определяющих коагуляционную способность глины, является количественное содержание гидрослюдистых минералов в ее составе. В результате проведенных исследований из глин различных месторождений были получены образцы пенокерамики, имеющие достаточно высокие показатели прочности при сжатии (до 8,5 МПа) при средней плотности 775...850 кг/м³.

Развитие технологии ячеистой керамики в рамках второго направления было достигнуто в результате установления механизма химического упрочнения контактных связей. Твердение сырца происходит благодаря присутствию в его составе достаточного количества реакционноспособного кремнеземистого компонента, полученного по технологии механохимической активации и проявляющего вяжущие свойства в процессе удаления избытка физической влаги из структуры материала.

Такие высококонцентрированные вяжущие системы на основе кремнезема в процессе сушки и нагрева характеризуются непрерывным ростом прочности вследствие поликонденсационной сшивки с переходом силанольной связки в силоксановую [22, 23]:



В БГТУ им. В.Г. Шухова [24] разработаны составы ВКВС и материалы на их основе: набивные массы, жаростойкие и огнеупорные бетоны, многослойные искусственные конгломераты. Проблематика использования ВКВС для получения уникальных керамических материалов может стать основой самостоятельного крупного технологического направления только при решении ряда существующих технических задач:

- сложная технология изготовления суспензии связующего, получаемого размолотом в водной среде природных кремнеземистых или алюмосиликатных материалов в условиях высокой концентрации твердой фазы и повышенной температуры;
- ограниченный срок хранения суспензии;
- отсутствие высокопроизводительного и надежного технологического оборудования для измельчения компонентов и формования изделий.

Констатируя вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Существующие способы формирования пористой структуры керамических материалов характеризуются существенной неравнозначностью для промышленности. Выбор способа производства определяется совокупностью исходных факторов, связанных с видом природного сырья, наличием и особенностями технологической базы, требованиями к показателям качества готовых изделий.

2. В отечественной керамической промышленности для поризации материала, как правило, применяют способы пенообразования и введения выгорающих добавок.

3. Метод введения в формовочную массу высокопористых несгораемых компонентов – корундовых полых зерен, вспученных частиц перлита и вермикулита – используют относительно редко: он повышает стоимость и снижает жаростойкость керамического материала.

4. Технологии, основанные на химическом или пиропластическом вспучивании, характеризуются сложностью соблюдения на практике оптимальных параметров протекания основных процессов.

Важнейшим фактором, сдерживающим развитие технологий производства пористой керамики, является ограниченность природной сырьевой базы. Отчасти причина этого заключается в процессах генезиса глинистых пород, осадочное происхождение которых обуславливает существенную вариативность химико-минералогического состава, а также обжиговых и сушильных свойств. Следствием этого является необходимость в постоянной корректировке шихты, применении улучшающих добавок и смешивании глин различных месторождений. В связи с этим расширение сырьевой базы керамической промышленности путем разработки новых технологических подходов, позволяющих задействовать в производстве нетрадиционные (малопластичные) виды природного сырья, является актуальной технико-экономической задачей.

1.3. Опыт промышленного использования нетрадиционного сырья

1.3.1. Керамика на основе диатомитов

Опалкристобалитовые породы составляют основу нетрадиционного керамического сырья, используемого для изготовления легкой керамики. Наиболее распространёнными опалкристобалитовыми породами являются диатомит, трепел и опока.

Пенодиатомитовый кирпич относится к группе жаростойких теплоизоляционных материалов, поэтому его часто применяют для устройства противопожарной защиты стальных, железобетонных и деревянных конструк-

ций. Технические характеристики пенодиатомитовых изделий приведены в табл. 1.1.

Т а б л и ц а 1 . 1

Показатели свойств пенодиатомитовых изделий [25]

Наименование показателя	Значения для марок	
	ПД-350	ПД-400
Средняя плотность, кг/м ³ , не более	375	450
Теплопроводность, Вт/(м·°С), не более	0,072	0,082
Прочность при сжатии, МПа, не менее	0,6	0,8
Линейная усадка при 900 °С, %, не более	2	2
Температура изолируемой поверхности, °С, не более	900	

Наряду со способом пенообразования, ООО «Диатомовый комбинат» (г. Инза, Ульяновская обл.) использует способ создания пористой структуры диатомитовых изделий путем введения выгорающих добавок. Такие изделия характеризуются повышенными показателями средней плотности и коэффициента теплопроводности в сравнении с пенодиатомитом. Основные свойства диатомитовых материалов, получаемых с использованием выгорающих добавок, приведены в табл. 1.2.

Т а б л и ц а 1 . 2

Показатели свойств диатомитовых изделий

Наименование показателя	Значения для марок	
	Д-500	Д-600
Средняя плотность, кг/м ³ , не более	525	625
Теплопроводность, Вт/(м·°С), не более	0,105	0,12
Прочность при сжатии, МПа, не менее	1,0	1,5
Линейная усадка при 900 °С, %, не более	2	2
Температура изолируемой поверхности, °С, не более	900	

Из диатомита выпускают мелкий наполнитель в виде обожжённой пенодиатомитовой крошки (табл. 1.3). Она предназначена для изготовления лёгких жаростойких бетонов, засыпной теплоизоляции гражданских и промышленных объектов, тепловых печей и теплогенерирующего технологического оборудования.

Т а б л и ц а 1 . 3

Показатели свойств пенодиатомитовой крошки

Наименование показателя	Значения для марок		
	А	Б	В
Насыпная плотность, кг/м ³ , не более	400	375	350
Теплопроводность, Вт/(м·°С), не более	0,111	0,105	0,100
Содержание зёрен крупнее 20 мм, % по массе, не более	0,2	2,0	20,0
Влажность, %, не более	5		
Температура изолируемой поверхности, °С, не более	900		

1.3.2. Керамика на основе опок

В отличие от диатомита и трепела проблематика использования опочного сырья в технологии обжиговых материалов разработана гораздо меньше, а опыт промышленного применения опок в производстве легковесов практически отсутствует.

Из анализа опубликованных работ [26] следует, что наиболее успешным примером промышленного использования опок является получение термолитового щебня (табл. 1.4).

Т а б л и ц а 1 . 4
Свойства термолитового заполнителя [26]

Свойства	Термолит на основе		
	диатомита	трепела	опоки
Насыпная плотность, кг/м ³	1000...1100	560...920	700...856
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,21...0,23	0,12...0,2	0,17...0,185

В работе [27] определены основные факторы влияния минерального и химического состава опочного сырья, технологии формования и обжига на свойства стеновой керамики (табл. 1.5).

Т а б л и ц а 1 . 5
Показатели свойств кремнистой керамики

Разновидность опок	Средняя плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа
Глинистая	1200...1280	22...34
Карбонатно-глинистая	1170...1230	19...31
Нормальная	1150...1250	13...24
Карбонатная	1050...1150	7...20

Большая работа по исследованию опочного сырья, оценке параметров его качества применительно к технологии пеностеклокерамических материалов была проведена в Пензенском ГУАС. Авторами [21] разработаны составы общестроительных пенокерамобетонов на основе опок различных месторождений, охватывающих основные разновидности этого вида сырья. В качестве основного компонента предложено использовать кремнистые и трепеловидные опоки в сочетании с пластифицирующими, разжижающими, стабилизирующими и флюсующими добавками. Формирование пористого сырца осуществлялось вспениванием сырьевой смеси методом «сухой минерализации», т.е. совмещением пены, сгенерированной из водных растворов синтетических А-ПАВ, и опочного шликера. Оптимальный интервал обжига материала находился в диапазоне температур 950...1050 °С и зависел от количества и вида модифицирующих веществ. На основе опок с

использованием технологии пенокерамобетона были получены строительные материалы следующего назначения:

- теплоизоляционные со средней плотностью $300...350 \text{ кг/м}^3$, теплопроводностью не более $0,085 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, прочностью при сжатии $1,3...1,5 \text{ МПа}$ и сорбционным увлажнением до $4,5 \%$;

- конструкционно-теплоизоляционные со средней плотностью $450...1100 \text{ кг/м}^3$, прочностью при сжатии $1,8...12 \text{ МПа}$, теплопроводностью $0,11...0,19 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ и сорбционным увлажнением до $4,1 \%$.

В работе [28] предложено использовать опоку в составе шихты для получения пеностеклокристаллических материалов. Сырьевую смесь изготавливали путем совместного помола в шаровой мельнице природной опоки, золошлаковых отходов и кальцинированной соды при их соотношении по массе $2:1:1$. Полученную смесь уплотняли и обжигали при температуре 800 °C с выдержкой при максимальной температуре в течение 30 мин. Обожженный спек измельчали до удельной поверхности $4000...5000 \text{ см}^2/\text{г}$, смешивали с газообразователем (1% сажи) и вспенивали при повторном нагреве. Полученный материал характеризуется насыпной плотностью 200 кг/м^3 , прочностью $2,9 \text{ МПа}$, водопоглощением 3% .

Халухаев Г.А. с соавторами разработал способ получения гранулированных и блочных теплоизоляционных материалов на основе опочных сырьевых смесей [29]. Способ включает перемешивание опочного наполнителя с песком до получения однородной массы, введение водного раствора щелочного компонента и компактирование смеси. Вспучивание гранул происходит при температуре 250 °C . Изготовление блоков с использованием полученных гранул осуществляется их частичным спеканием в местах контакта. С этой целью гранулы засыпаются в формы и подвергаются термообработке при $750...850 \text{ °C}$. Блоки имеют плотность $700...800 \text{ кг/м}^3$, теплопроводность $0,093 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, прочность 10 МПа , морозостойкость 45 циклов .

Анализ результатов работ в области опочной керамики позволяет заключить следующее:

1. Несмотря на положительные результаты, достигнутые рядом исследователей, в настоящее время опочные породы не используются керамической промышленностью в качестве сырьевого ресурса.

2. Месторождения опок отличаются значительными запасами и распространенностью, хорошие горнотехнические условия залегания и выдержанность по составу. Это создаёт хорошие предпосылки для их промышленной разработки.

3. Опочные горные породы могут стать сырьем для производства легкой керамики с уникальными свойствами при условии успешного решения задач по формированию керамического черепка с улучшенными физико-механическими показателями.

4. Совершенствование технологии пористой керамики может быть осуществлено путем проектирования составов ячеистых стеклокерамических материалов на основе опочных сырьевых шихт с добавлением щелочных активизаторов, существенно упрочняющих сырцовую массу за счет протекания благоприятных физико-химических процессов взаимодействия порообразующих минералов с водной фазой в процессе перемешивания и последующего коагуляционного твердения.

Для повышения уровня качества ячеистых керамических материалов необходимо:

- разработать критерии выбора опочных сырьевых компонентов по химическому и минералогическому составу с учетом их влияния на свойства сырца и готового материала;
- обосновать возможность использования новых, в том числе комбинированных, технологических приемов формирования макроструктуры материала с заданными свойствами.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ТЕПЛОЭФФЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОПОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД

2.1. Выбор управляющих факторов

В данном разделе приводятся результаты исследований по оптимизации химико-минералогического состава природного опочного сырья добавками-модификаторами, подобренными с учетом вероятности протекания структурообразующих процессов и степени их позитивного воздействия на формирование комплекса заданных свойств.

Результаты проведенных исследований [12] показали, что важнейшими управляющими рецептурно-технологическими факторами являются химический и минералогический состав компонентов, а также параметры процессов поризации, выдержки и обжига сырцовый массы.

Усредненный минералогический состав использованных опок приведен в табл. 2.1 [51].

Т а б л и ц а 2 . 1

Минералогический состав опочных пород Пензенской области [30]

Компоненты (минералы)	Содержание, %		
	среднее	максимальное	минимальное
Глауконит	1,20	2,18	0,02
Кварц и полевые шпаты	5,5	11,74	0,60
Кремневые организмы	1,21	7,00	0
Опалово-органогенное вещество	91,04	98,10	77,44

С учетом основного функционального назначения обжиговых материалов были выбраны главные критерии оптимизации материала, которые использовали в процессе дальнейшего проектирования составов (рис. 2.1).

При выборе добавок учитывались их доступность, технологичность применения, диспергирующая способность, вероятность образования труднорастворимых солей в результате химических процессов с опочным сырьем, а также влияние на формирование необходимого фазового состава и свойств сырцовых и керамических масс.

Сравнение добавок проводили путем ранжирования эффектов их влияния на показатели отдельных свойств, а выбор оптимальных видов – их суммированием. В табл. 2.2 показаны примеры обоснования перечня возможных альтернативных добавок, полученные методом эвристического анализа физико-химических взаимодействий в системе «опока – вода – химическая добавка». В качестве химических добавок были проанализированы: Na_2CO_3 (D_1); NaOH (D_2); NaF (D_3); Li_2CO_3 (D_4); Na_2SiF_6 (D_5); Na_2SiO_3 (D_6); Na_3PO_4 (D_7); $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (D_8).



Рис. 2.1. Критерии оптимизации ячеистого обжигового материала

Т а б л и ц а 2 . 2
Эффективность исследуемых химических добавок

Добавка	Технологичность		Эффект введения		Влияние на			
	раствори- мость	безопас- ность	дисперга- ция	разжиже- ние	фазовый состав		свойства**	
					сырца	керамики	сырца	керамики
D ₁	+++	+++	+++	+++	++	++	I – (++) II – (+) III – (+) IV – (+)	I – (++) II – (++) III – (++) IV – (++)
D ₂	+++	-	+	+	++	++	I – (++)	I – (++) II – (+) III – (+) IV – (+)
D ₃	+++	-	+++	+++	++	++	I – (++)	I – (++) II – (++) III – (++) IV – (++)
...								
D ₈	+++	+++	+++	+++	++	+++	I – (-)	I – (++) II – (++) III – (++) IV – (++)

(+) – благоприятное воздействие; (-) – отрицательное воздействие.

**Прочность (I), теплопроводность (II), сорбционное увлажнение (III), водостойкость (IV).

Анализ данных табл. 2.1 показывает, что если при проектировании составов не отдается предпочтение конкретному свойству, то наиболее оптимальной добавкой-модификатором состава является Na_2CO_3 (D_1).

2.2. Материалы, формируемые способом низкотемпературного вспенивания

В разделе приведены результаты исследований по разработке составов эффективных обжиговых теплоизоляционных материалов, ячеистая структура которых формируется способом газообразования на начальном (низкотемпературном) этапе их изготовления. В качестве основного сырьевого компонента использовалась сурская опока. Цель исследований заключалась в теоретическом обосновании и экспериментальном подтверждении целесообразности применения опочного природного сырья для получения эффективной теплоизоляционной газостеклокерамики.

2.2.1. Исследование реологических свойств сырьевых смесей

Исследования проводились для нахождения оптимального водотвердого отношения в опочной сырьевой массе, при котором достигается эффект максимального тиксотропного разжижения смеси и уточнения перечня химических веществ (добавок-разжижителей), рекомендуемых в технологии получения опочной керамики.

Реологические характеристики смесей оценивали способом гравитационного растекания (для подвижных смесей) и методом встряхивающего столика (для упругопластичных смесей). На основании анализа данных, приведенных в табл. 2.1, в качестве разжижителей были опробованы Na_2CO_3 ; NaOH ; NaF ; Li_2CO_3 ; Na_2SiF_6 ; Na_2SiO_3 ; Na_3PO_4 ; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Экспериментальные данные, характеризующие зависимость подвижности контрольных составов (опока+вода) от водотвердого отношения, представлены в табл. 2.3.

Т а б л и ц а 2 . 3

Подвижность контрольного состава

Значение В/Т	Расплыв конуса $D_{\text{экс}}$, см, определенный по методу	
	гравитационного расплыва	встряхивающего столика (30 раз за 30 с)
0,4	нет	45
0,45	нет	58,5
0,5	43,6	80
0,55	68,25	99
0,6	92,75	109,5

Математическая обработка полученных данных позволила определить вид аппроксимирующей функции $(B/T)_{\text{апрокс}} = f(D_{\text{эксп}})$. Установлены следующие зависимости, характеризующие подвижность контрольного состава:

- при гравитационном расплыве

$$(B/T)_{\text{апрокс}} = 0,411 + 2,03 \cdot 10^{-3} D, \quad (2.1)$$

- при встряхивании

$$(B/T)_{\text{апрокс}} = -1 \cdot 10^{-4} + 1,52 \cdot 10^{-2} D - 1,8 \cdot 10^{-4} D^2 + 7,85 \cdot 10^{-7} D^3. \quad (2.2)$$

Аналогичные исследования были проведены для составов с другими анализируемыми добавками. Данные, характеризующие влияние концентрации жидкого стекла ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) на подвижность состава и величину возникающего водоредуцирующего эффекта ($K_{\text{ред}}^{C_i}$), приведены на рис. 2.2.

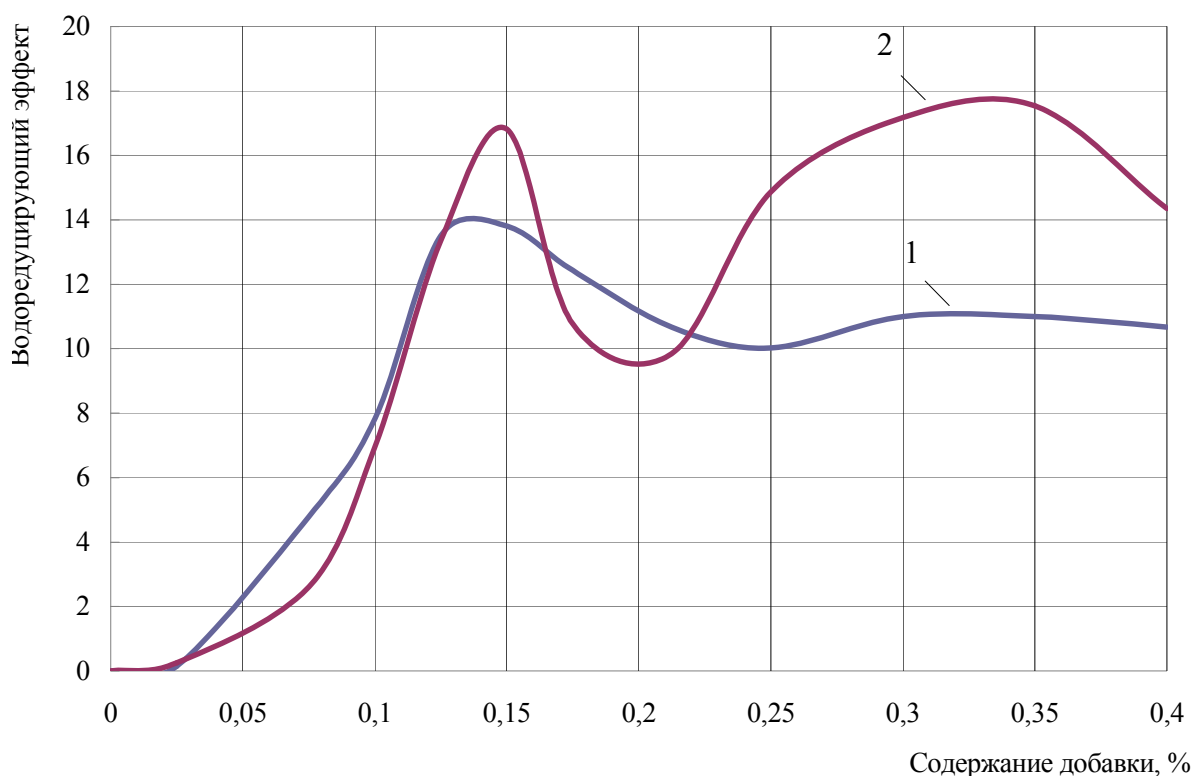


Рис. 2.2. Коэффициент водоредуцирования смеси при добавлении стекла, определенный по методу:
1 – гравитационного растекания; 2 – встряхивающего столика

В диапазоне первого экстремума водоредуцирующий коэффициент при гравитационном растекании и при встряхивании имеет близкие значения. На втором экстремуме значения расходятся, и гравитационное растекание становится меньше. Наблюдаемую закономерность можно объяснить тем, что при увеличении концентрации добавки Na_2SiO_3 усиливаются тиксо-

тропные свойства системы; поэтому уже в первые секунды после окончания перемешивания смесь начинает быстро загустевать с закономерной потерей подвижности при гравитационном растекании.

Анализ результатов:

1. Из исследованных добавок введение жидкого стекла в опочную суспензию сопровождается максимальным водоредуцирующим эффектом. При этом оптимальная концентрация добавки составляет 0,33...0,35 %. На графиках зависимостей указанный диапазон концентраций находится в районе второго экстремума, где тиксотропное разжижение больше гравитационного. В отличие от соды введение Na_2SiO_3 или NaOH в диапазоне концентраций от 0 до 0,4 % всегда сопровождается разжижающим эффектом, т.е. $K_{\text{ред}}^{C_i} > 0$, а степень разжижения изменяется в зависимости от концентрации добавки.

2. Применительно к разрабатываемой технологии, в основе которой лежит эффект быстрого схватывания вспененной опочной суспензии без введения каких-либо вяжущих веществ, подбор добавок целесообразно проводить по параметрам второго максимума. Это связано с тем, что использование электролитов в оптимальных концентрациях обеспечит требуемую скорость тиксотропного загустевания сырьевой смеси, достаточную для надежной фиксации ячеистой структуры сырцовых масс.

2.2.2. Процессы формирования сырцовых масс

На *первом* этапе модификацию составов сырьевых смесей проводили с целью выработки оптимальных рецептурно-технологических решений, позволяющих управлять процессами дезинтеграции опочно-глинистых составляющих используемого природного сырья, а также их дальнейшего сольватирования и коагуляции. Указанные процессы определяют формирование механических показателей сырцовой структуры за счет усиления эффекта тиксотропного упрочнения шликера. В основе направленного коллоидно-химического воздействия на свойства опочно-глинистых суспензий лежит активация катионообменных процессов между минеральной основой природного сырья и вводимыми добавками.

На *втором* этапе изучалась возможность дополнительного упрочнения сырцовой ячеистой структуры в результате протекания процессов химического взаимодействия вводимых добавок и опочного вещества с образованием прочных и водостойких веществ в системе $\text{R}_2\text{O}-\text{R}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ (где $\text{R}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{O}, \text{Li}_2\text{O}$; $\text{R}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$). Насыщение твердеющей системы оксидами R_2O происходит *в основном* за счет вводимых модификаторов, а источниками оксидов R_2O_3 являются опочное вещество и глинистые примеси, содержащиеся в исходной горной породе.

Исследование процессов формирования фазового состава и свойств несущей матрицы пористого опочного сырца проводили с применением Na- и Li-содержащих водорастворимых солей, которые относятся к наиболее эффективным разжижающим добавкам опочных масс (см. табл. 2.1). Согласно экспериментальным данным, оптимальное количество анализируемых добавок (Na_2CO_3 , Na_2SiO_3 , NaOH , Li_2CO_3 , NaF , $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) для достижения эффекта увеличения подвижности опочных сырцовых масс составляет 0,3...0,5 %.

На рис. 2.3 приведены результаты исследования влияния некоторых из разжижающих веществ и их комбинаций на прочность опочного сырца. Возраст контрольных образцов при испытаниях составлял 2 суток (водотвердое отношение всех составов равно 0,425).

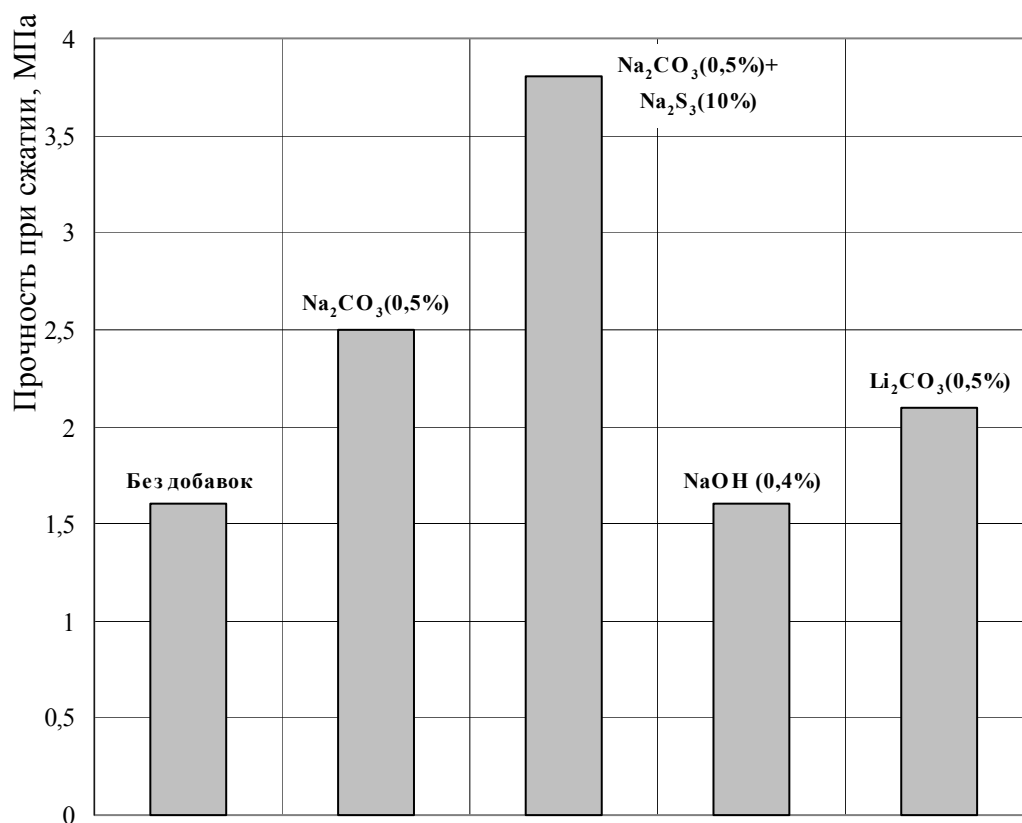


Рис. 2.3. Влияние добавок на прочность опочного сырца

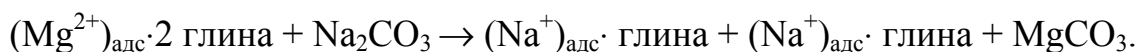
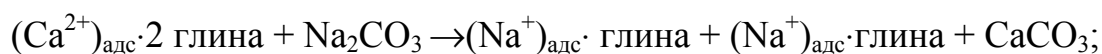
Анализируя данные, представленные на рис. 2.3, можно отметить, что введение в состав опочной суспензии рассматриваемых добавок сопровождается увеличением прочности образцов, формируемой при твердении в воздушно-сухих условиях. В порядке уменьшения влияния на прочность сырца исследуемые добавки располагаются в следующий ряд: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Na}_2\text{SiO}_3$; Na_2CO_3 ; Li_2CO_3 , NaOH .

Механизм упрочняющего эффекта обуславливается совокупностью коллоидно-химических процессов взаимодействия частиц опоки с водной

средой, содержащей добавку электролита. К таким процессам относятся дезинтеграция крупных частиц сырья (первый процесс), коагуляция отдельных минеральных агрегатов, входящих в состав опочного вещества (второй процесс), гидратация продуктов, полученных на первых двух этапах, с образованием прочных химических соединений (третий процесс).

Первый процесс определяется пептизацией и диспергированием глинистой и кристобалитовой минеральных составляющих опок. Механизм активации коллоидно-химических процессов, способствующих дезинтеграции естественной структуры опоки при перемешивании с жидкой фазой, целесообразно изучать по аналогии с процессами разжижения глинистых суспензий [31]. Возможность проведения такой аналогии обусловлена присутствием в составе природного опочного сырья до 20...25 % монтмориллонитовой фазы.

Согласно данным проведенных исследований [32], дезинтеграция глинистых частиц основывается на процессах ионного взаимодействия между катионами Na^+ вводимой добавки и обменными катионами Ca^{2+} или Mg^{2+} , расположенными в диффузионном слое мицелл опочно-глинистой суспензии или между внешними слоями тетраэдрических пакетов $\text{SiO}_4(\text{AlO}_4)$. Катион разжижающей добавки замещает катион кальция, удерживающий две глинистые частицы по схеме [31]:



Движущей силой процесса является энергия взаимодействия катионов щелочно-земельных металлов с анионами CO_3^{2-} , бóльшая чем их энергия взаимодействия с поверхностью глинистых частиц. В результате образуются труднорастворимые соли карбонатов кальция и (или) магния, выпадающие в виде твердых частиц. Таким образом, эквивалентная замена числа двухвалентных катионов Ca^{2+} на одновалентные катионы Na^+ приводит к увеличению величины дзета-потенциала агрегатированных опочно-глинистых частиц. Это сопровождается возрастанием сил взаимного отталкивания между ними с увеличением барьера активации процесса их обратного агрегатирования.

Второй процесс обусловлен изменением параметров диффузионного слоя на поверхности твердых частиц под воздействием катионов разжижающей добавки. Поэтому, если из опочной суспензии ионным обменом выведены все катионы кальция (магния), дальнейшее введение разжижителей приводит к эффекту увеличения вязкости суспензий. Причиной возрастания степени структурирования опочных растворов при введении избыточного количества добавок указанной группы является увеличение плотности распределения ионов в объеме системы, что сопровождается сле-

дующими изменениями в характере адсорбционных и электрокинетических процессов:

- усиление электростатического притяжения между катионами натрия и анионными радикалами (CO_3^{2-}), а также между адсорбционными комплексами на поверхности опочно-глинистых агрегатов, имеющих участки с несбалансированным электрическим зарядом;

- резкое снижение степени сольватирования и величины ξ -потенциала твердых частиц, вызванное вытеснением катионами разжижителя с их поверхности адсорбированных молекул H_2O .

Для более детального теоретического обоснования механизма формирования эффекта быстрого схватывания сырцовый массы, возникающего при оптимальном водотвердом отношении опочного шликера* и экспериментально подобранной концентрации электролита, были использованы теоретические представления, разработанные в теории ДЛФО.

Согласно этой теории [33, 34], стабильность дисперсии зависит от результата взаимодействия сил молекулярного притяжения и электростатического отталкивания. Для частиц сферической формы результирующую силу можно рассчитать по уравнению

$$U = 2\pi \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot \varphi \cdot \ln[1 + \exp(-x \cdot h)] - \frac{A \cdot r}{12h}, \quad (2.3)$$

где A – константа Гамакера;

r – радиус частицы;

φ – потенциал диффузной части двойного электрического слоя;

x – расстояние между частицами от начала диффузной части двойного электрического слоя.

В уравнении (2.3) первое слагаемое характеризует величину сил электростатического отталкивания одноименно заряженных поверхностей, а второе – результирующую сил молекулярного притяжения частиц. Зависимость результата взаимодействия сферических частиц от расстояния между ними описывается в виде S -образной кривой, имеющей два минимума: на малом удалении минимум (I); на большом удалении проявляется второй потенциальный минимум (II).

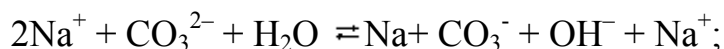
На расстояниях, соответствующих области (II), частицы способны коагулировать с образованием коагуляционной структуры малой прочности, обладающей тиксотропными свойствами. На расстояниях в области I-го потенциального минимума частицы коагулируют необратимо с образованием прочных коагуляционно-конденсационных структур. Между этими минимумами находится барьер активации указанных процессов, препятствующий взаимному сближению частиц и необратимой трансформации микроструктуры [35].

* Из условия его минимального значения для осуществления процесса последующего вспучивания смеси, $V/T = 0,425$.

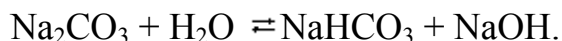
Применительно к материалу-основе сырцово́й массы барьер активации процесса трансформации микроструктуры может быть преодолен за счет роста капиллярных сил стяжения, обусловленного удалением большей части свободной влаги в процессе сушки материала. Упрочняющий эффект процесса коагуляции дополнительно усиливается в результате увеличения концентрации катионов Na^+ и Li^+ в тонких прослойках остающейся жидкой фазы, что уменьшает величину ξ -потенциала с одновременным возрастанием сил молекулярного притяжения (первое слагаемое в формуле (2.3)).

Третий процесс – синтез упрочняющих гидратных новообразований. На принципиальную возможность наличия третьего процесса указывают результаты исследований в области глинощелочных вяжущих, полученные проф. В.Д. Глуховским. В случае с добавкой-разжижителем на основе карбоната натрия увеличение реакционной способности смеси обусловлено процессом гидролиза Na_2CO_3 с образованием щелочной среды:

✓ в ионной форме



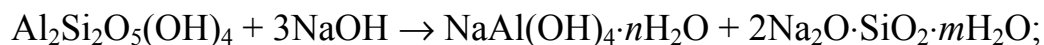
✓ в молекулярной форме



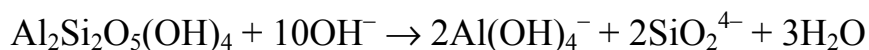
При взаимодействии щелочи с минералами глинистых пород происходит внедрение гидроксила и ионов Na^+ в алюмосиликатный каркас с частичным разрушением связей $\text{Si}-\text{O}-\text{Si}$ и $\text{Si}-\text{O}-\text{Al}$, что сопровождается, с одной стороны, выходом $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ и SiO_2 в жидкую среду, а с другой – диспергированием и увеличением дефектности минеральной основы опокглинистого вещества. Молекулы активированного щелочью алюмосиликатного вещества присоединяют воду, а возникающие гидраты конденсируются во флоккулы, которые с течением времени конденсируются.

Согласно исследованиям [36] в щелочной среде глинистые минералы подвержены растворению с последующим формированием твердой фазы гидроалюмосиликатов натрия (натролитов) по конденсационному механизму, который может реализовываться по двум вариантам:

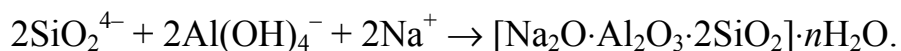
✓ вариант №1



✓ вариант №2



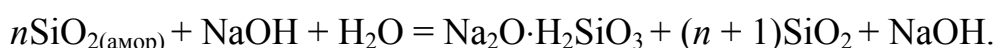
с последующей конденсацией по реакции



В процессе взаимодействия глины со щелочью образуется жидкая фаза с высокой степенью перенасыщения, что способствует возникновению на

наиболее адсорбционно-активных центрах мозаичной поверхности крупных опочных частиц кристаллических новообразований. Формирование скоплений кристаллов новой фазы в местах максимального сближения крупных частиц приводит к возникновению зародышей кристаллизационных контактов между ними.

Немаловажную роль в набор прочности сырцовый массы вносит процесс взаимодействия щелочи и кремнезема опоки с образованием геля поликремниевой кислоты, также обладающего вяжущими свойствами. Растворение аморфного кремнезема малым количеством щелочи происходит по известной реакции:



Экспериментальные исследования фазового состава сырцовый массы опочной керамики проводили с использованием метода рентгеноструктурного анализа.

На рис. 2,4–2,9 показаны фрагменты рентгенограмм необожженных опочных составов, затворенных водой и водными растворами солей (Na_2CO_3 , Li_2CO_3).

Рентгенограмма опочно-водной суспензии приведена на рис. 2.4. Основными рентгеноидентифицируемыми являются фазы α -кварца и опал-кристобалита. Тригональный α -кварц (Кв) характеризуется следующей совокупностью рефлексов: 4,268-3,345-1,818-1,541-1,378Å. Опал-кристобалитовая квазикристаллическая фаза SiO_2 (О-Кр) идентифицируется по пикам с широким и размытым профилем в диапазоне межатомных расстояний 4,11 и 2,51Å. Рефлексы других кристаллических фаз проявляются слабо и мало отличаются от флуктуаций фона.

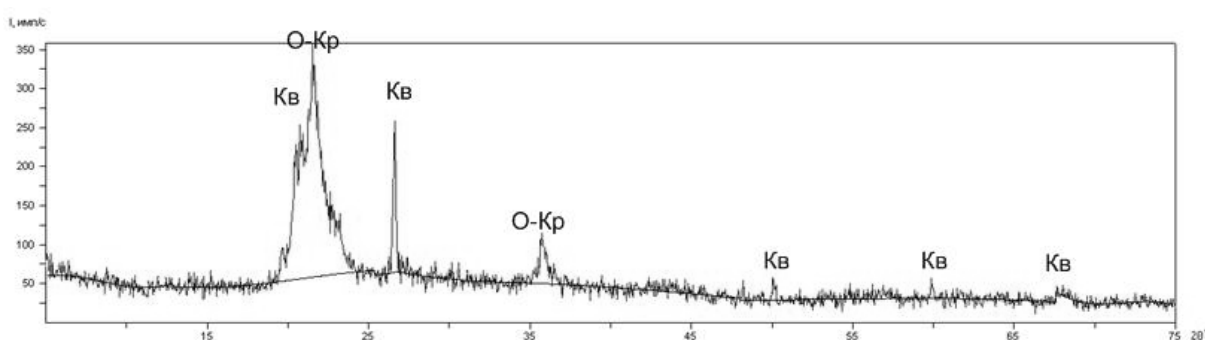


Рис. 2.4. Рентгенограмма влажной опоки (контрольный состав)

На дифрактограмме, полученной при съемке высушенной кремнистой опоки (рис. 2.5), присутствуют кристаллические фазы, аналогичные контрольному составу (см. рис. 2.4). Однако появляются рефлексы, позволяющие идентифицировать фазу плагиоклаза (альбита). На это указывают пики в межатомных расстояниях 3,68 и 3,22 Å. Очевидно, что сушка сильно

увлажненной опоки сопровождается кристаллизационными процессами, приводящими к образованию указанного новообразования.

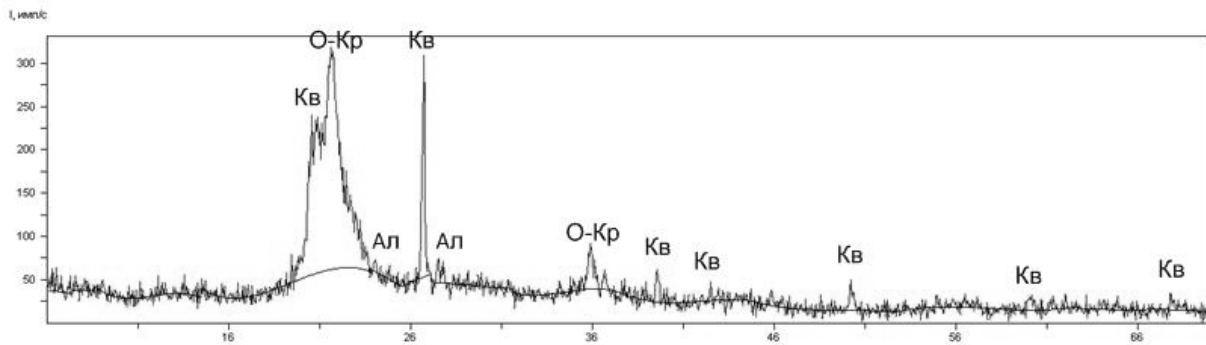


Рис. 2.5. Рентгенограмма высушенной опоки

На рис. 2.6 приведен фрагмент дифрактограммы в области углов $5...60^\circ$ (2θ). Образцы для съемки были изготовлены из смеси опоки и 0,5 %-го водного раствора Na_2CO_3 . Возраст образцов в момент начала съемки составлял два часа. На рис. 2.6 присутствуют пики, аналогичные пикам-рефлексам контрольного состава, которые свидетельствуют о наличии в составе фазы кварца, а также его разновидностей с различной степенью аморфизации. В подтверждение возможности протекания ранее теоретически обоснованного химического взаимодействия Na_2CO_3 и глинистых минералов на рентгенограмме отмечены пики, указывающие на наличие продукта их взаимодействия – натролита ($\text{NaAlSi}_n\text{O}_m \cdot m\text{H}_2\text{O}$).

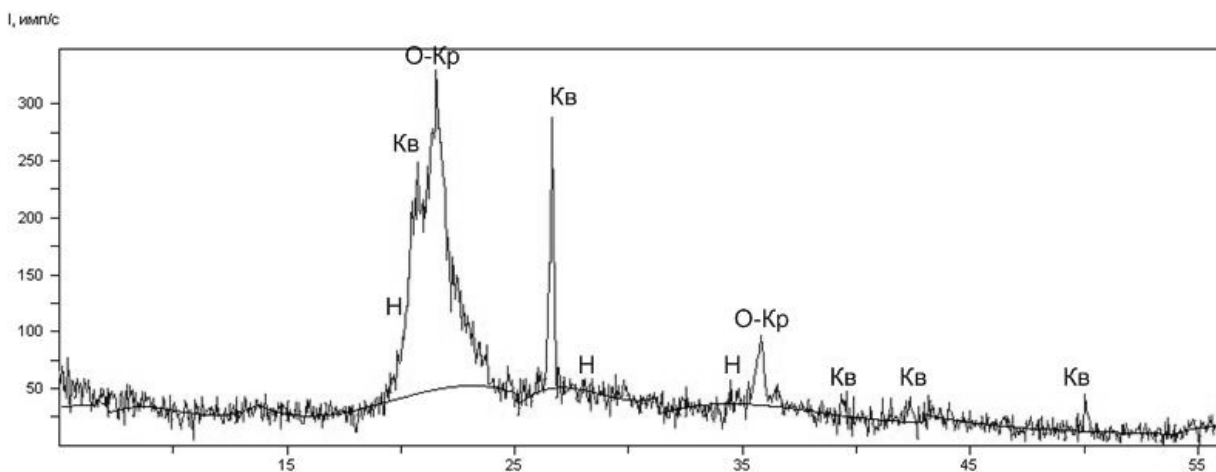


Рис. 2.6. Рентгенограмма влажной опоки, затворенной 0,5 %-м водным раствором Na_2CO_3

На рис. 2.7 приведена дифрактограмма образцов предыдущего состава после их сушки в комнатных условиях в течение 2 суток. Полученные рефлексы практически совпадают с рефлексами, представленными на рис. 2.6, что свидетельствует об аналогичном составе кристаллических фаз. Вместе с тем на рис. 2.7 появляется дополнительный пик, указывающий на формирование натролитовой фазы ($5,9\text{Å}$).

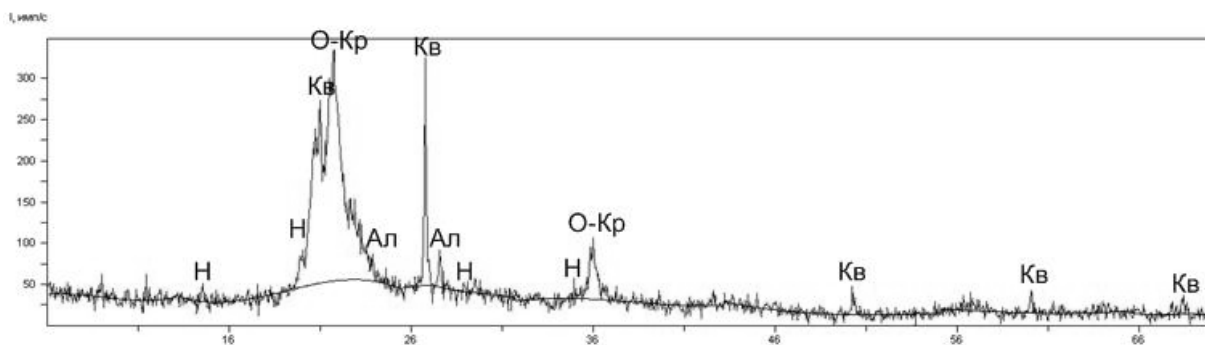


Рис. 2.7. Рентгенограмма опоки, затворенной 0,5 %-м водным раствором Na_2CO_3 и высушенной в течение 2 суток

На рис. 2.8 и 2.9 представлены ионизационные рентгенограммы опочных составов, затворенных 0,5 %-м водным раствором Li_2CO_3 при различных условиях экспозиции образцов.

На рентгенограмме образца, изготовленного из смеси опоки и 0,5 %-го водного раствора Li_2CO_3 и выдержанного во влажных условиях в течение 6 суток (см. рис. 2.8), присутствуют только рефлексы опал-кristобалитовой и кварцевой фаз.

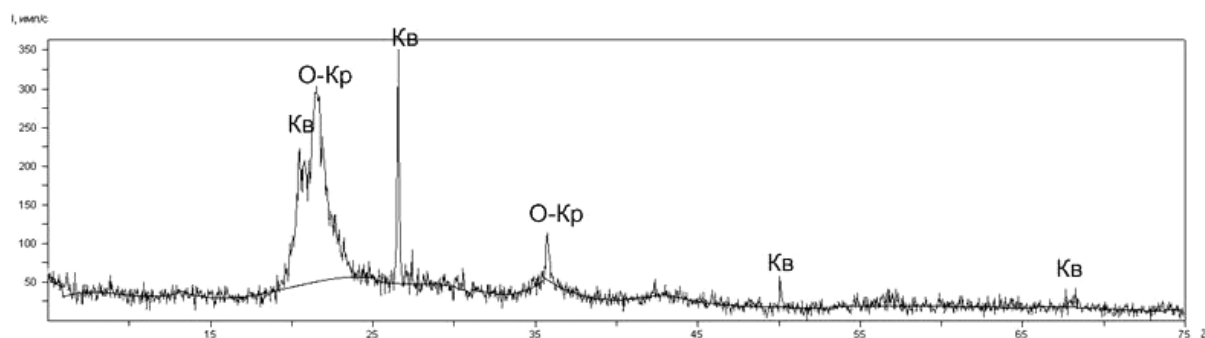


Рис. 2.8. Рентгенограмма опоки, увлажненной 0,5 %-м водным раствором Li_2CO_3 (возраст образца 6 суток влажного твердения)

На рис. 2.9 приведена рентгенограмма образца предыдущего состава после его сушки в комнатных условиях в течение 2 суток. На ней, помимо фаз опал-кristобалита и кварца, наблюдаются также характерные рефлексы литийсодержащего натролита ($\text{Li}_{1,6}\text{Na}_{0,4}\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

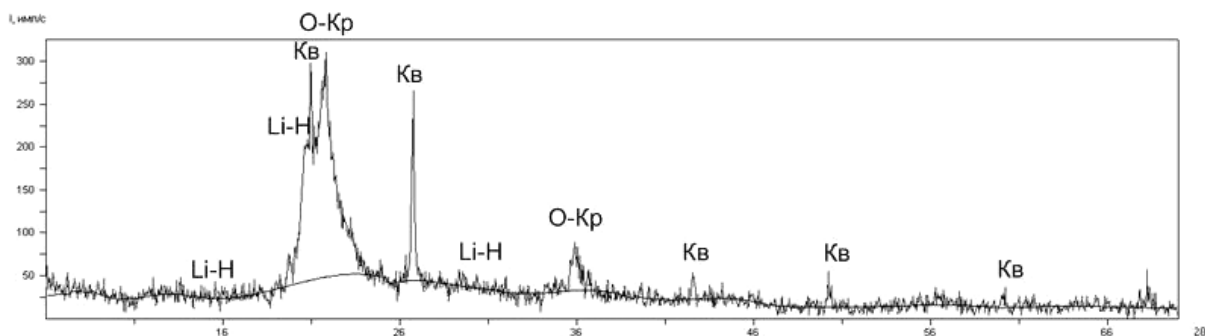


Рис. 2.9. Рентгенограмма опоки, увлажненной 0,5 %-м водным раствором Li_2CO_3 и высушенной в течение 2 сут

Анализ данных РФА позволил установить следующие особенности процессов, формирующих прочность сырцовой структуры опочной керамики:

- прочность кремнеземистого несущего каркаса формируется в контактных зонах при конденсации геля кремниевой кислоты;
- существенное влияние на прочность каркаса оказывают морфология и свойства нерастворимых гидроалюмосиликатных новообразований натрия;
- образование упрочненных коагуляционно-конденсационных структур определяется способностью модифицированного опочного вещества к процессам коагуляции.

2.2.3 Процессы формирования структуры обожженной газокерамики

В ходе проведения исследований определялись возможность и границы применения управляющих рецептурно-технологических воздействий на структурообразующие процессы опочной газокерамики. Механизм направленной трансформации материала-основы газокерамики реализовывался введением специально подобранных добавок-модификаторов фазового состава, обеспечивающих синтез минерально-фазового состава, оптимизированного по комплексу прочностных и теплофизических свойств. В данном разделе рассмотрены основные закономерности изменения минерально-фазового состава опочных сырьевых смесей, содержащих добавки на основе солей щелочных металлов из перечня подобранной ранее группы эффективных разжижителей (см. табл. 2.1). Указанные вещества насыщают систему Na^+ (Li^+), создавая тем самым предпосылки для формирования достаточного количества упрочняющего стекловидного расплава или микроармирующих кристаллических соединений.

Рассматриваемые сырьевые смеси содержат оксиды SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , R_2O , источником SiO_2 , CaO , Al_2O_3 , Fe_2O_3 и K_2O является опочная порода, а источником оксидов R_2O – добавки-модификаторы фазового состава. На рис. 2.10 приведена схема возможных минералообразующих процессов в системе «опочное вещество – щелочной компонент – вода» при температурах обжига 950...1000 °С, построенная с учетом расчетной вероятности процессов синтеза соединений.

Вероятность протекания керамоформирующих процессов оценивалась отдельно для аморфной (стекловидной) и кристаллической фаз.

Применительно к стекловидной фазе опочной керамики вероятность прохождения процессов оценивали, анализируя результаты проведенных петрохимических расчетов и данные графических построений на диаграммах состояния систем « $\text{R}_2\text{O}-\text{SiO}_2-\text{Al}_2\text{O}_3$ ». Порядок проведения петрохимических расчетов для определения температуры образования расплава, его количества и химического состава соответствовал методике, применяемой в технологии керамических изделий [31].

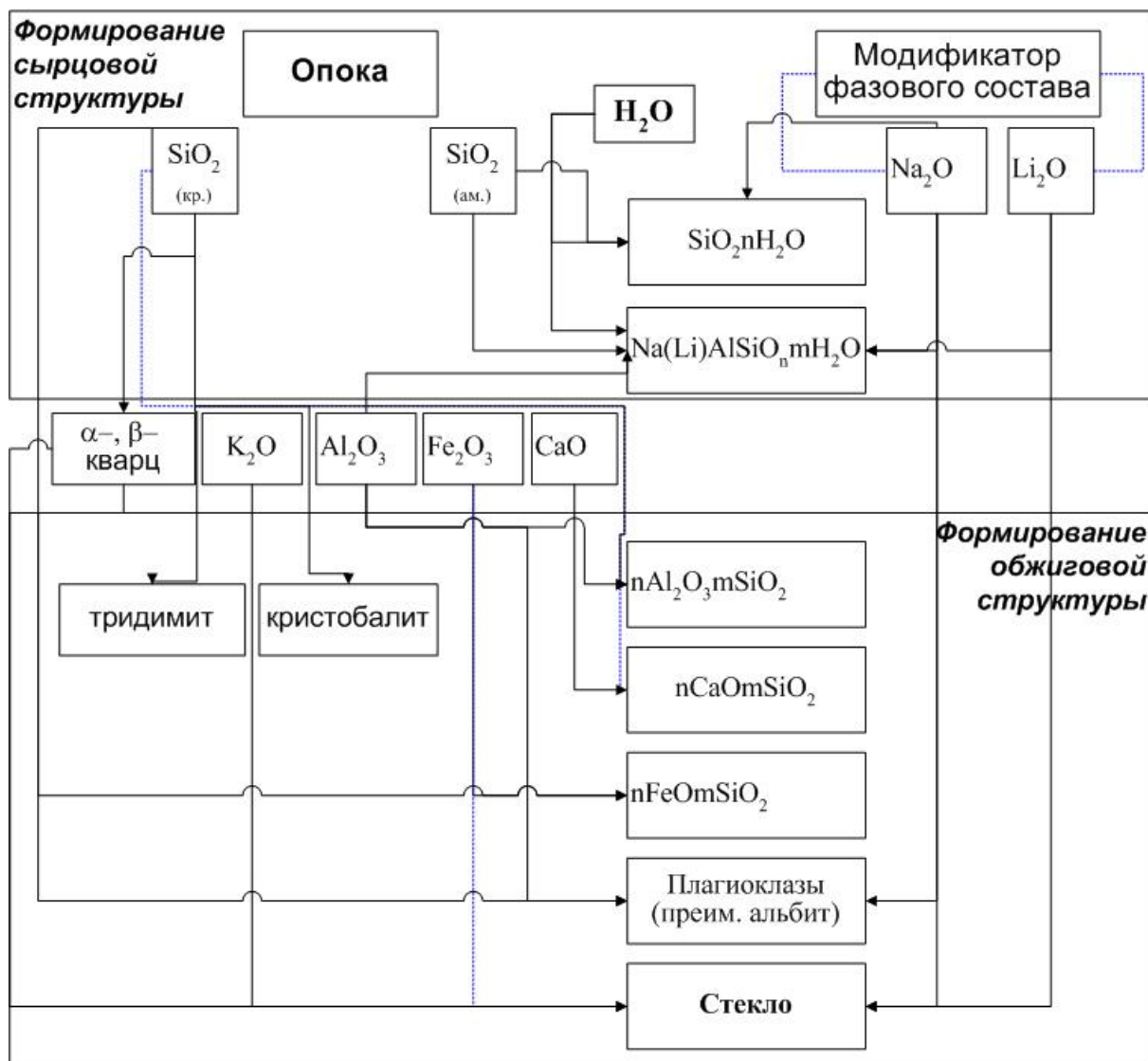


Рис. 2.10. Схема структурообразующих процессов в системе «опока – щелочной компонент – вода»

Методика расчета температуры начала образования стекловидной фазы предусматривает условное деление многокомпонентной системы на двухкомпонентные подсистемы. Для опочной газокерамики такими подсистемами являются: $\text{Na}_2(\text{Li}_2)\text{O}-\text{SiO}_2$; $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2(\text{Li}_2)\text{O}$; $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$. Температуру плавления двухкомпонентных подсистем определяли по уравнению Эпштейна-Хауланда [31]:

$$T_i = \frac{T}{\left[1 - (\ln x_i / N_i)\right]}, \quad (2.4)$$

где T_i – температура плавления смеси при заданной концентрации i -го компонента;

T – температура плавления i -го компонента;

x_i – мольная доля i -го компонента;

N_i – число атомов в молекуле i -го компонента.

В результате расчета были установлены температуры плавления подсистем:

– для $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}$ и $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (соответственно 1068, 1130 и 1578 °С).

– для $\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Li}_2\text{O}$ и $\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ (соответственно 1328, 1488 и 1578 °С).

Расчет минимальной температуры плавления трехкомпонентных систем проводили по методу А.С. Бережного:

$$T_n(n) = T_m \cdot \left(\frac{T_m}{T_{m-1}} \right)^{(m-1) \cdot \left(1 - \frac{m}{n}\right)}, \quad (2.5)$$

где $T_n(n)$ – минимальная эвтектическая температура в n -компонентной системе;

n – число компонентов в исследуемой системе;

m – минимальные эвтектические температуры в системах с меньшим, чем в рассчитываемой системе, числом компонентов [$2 \leq m \leq (n-1)$].

Применительно к опочным сырьевым системам при использовании добавок-модификаторов фазового состава на основе соединений:

✓ *натрия* – расчет вели в области « $\text{SiO}_2-\text{Na}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$ », где величины T_m и T_{m-1} являются температурами плавления подсистемы $\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ($T_{\text{пл}} = 1068$ °С) и оксида натрия ($T_{\text{пл}} = 1132$ °С). Для этого случая расчетная минимальная температура плавления составила:

$$T_n(n) = T_m \cdot \left(\frac{T_m}{T_{m-1}} \right)^{(m-1) \cdot \left(1 - \frac{m}{n}\right)} = 1068 \cdot \left(\frac{1068}{1132} \right)^{\left(1 - \frac{2}{3}\right)} = 1047 \text{ °С};$$

✓ *лития* – расчет вели в области « $\text{SiO}_2-\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$ », где величины T_m и T_{m-1} являются температурами плавления подсистемы $\text{Li}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ ($T_{\text{пл}} = 1328$ °С) и оксида лития ($T_{\text{пл}} = 1570$ °С). Расчетная минимальная температура плавления равна:

$$T_n(n) = T_m \cdot \left(\frac{T_m}{T_{m-1}} \right)^{(m-1) \cdot \left(1 - \frac{m}{n}\right)} = 1328 \cdot \left(\frac{1328}{1570} \right)^{\left(1 - \frac{2}{3}\right)} = 1256 \text{ °С}.$$

С использованием приведенного выше метода были рассчитаны параметры процессов плавления всех основных минеральных систем, характерных для составов опочной керамики: « $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3$ », « $\text{SiO}_2-\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}$ », « $n\text{CaO}-\text{Na}_2\text{O}-m\text{SiO}_2$ », « $k\text{CaO}-\text{K}_2\text{O}-j\text{SiO}_2$ », « $\text{CaO}-n\text{B}_2\text{O}_3-k\text{SiO}_2$ ». Расчетные данные температуры образования эвтектик приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4

Расчетные эвтектические температуры

Система	Температура, °С
$\text{SiO}_2\text{--Na}_2\text{O--Al}_2\text{O}_3$	1047
$\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O--Al}_2\text{O}_3$	920
$\text{SiO}_2\text{--Li}_2\text{O--Al}_2\text{O}_3$	1256
$\text{SiO}_2\text{--K}_2\text{O--Na}_2\text{O}$	891
$n\text{CaO--Na}_2\text{O--}m\text{SiO}_2$	725
$k\text{CaO--K}_2\text{O--}j\text{SiO}_2$	720
$\text{CaO--}n\text{B}_2\text{O}_3\text{--}k\text{SiO}_2$	454

Данные табл. 2.4 показывают, что исследуемые модификаторы существенно влияют на снижение расчетной температуры образования эвтектик, возникающих в процессе обжига опочной газокерамики.

Состав и температуру эвтектического расплава определяли с учетом собственных расчетных данных и справочных данных по равновесным фазовым сочетаниям известных многокомпонентных силикатных систем [37]. Результаты произведенных расчетов приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5

Температура плавления кальцийсодержащих систем

Состав расплава	Обозначение	Содержание оксида, % по массе							T, °С
		SiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	CaF ₂	B ₂ O ₃	Na ₂ SiF ₆	
1	2	3	4	5	6	8	9	10	11
$n\text{CaO--Na}_2\text{O--}m\text{SiO}_2\text{+Na}_2\text{O}\cdot k\text{SiO}_2$	N ₁	73,5	5,2	21,3					725
$n\text{CaO--Na}_2\text{O--}m\text{SiO}_2\text{+}k\text{CaO--}n\text{Na}_2\text{O--}n\text{SiO}_2$	N ₂	73,4	12,9	13,7					1047
$k\text{CaO--K}_2\text{O--}j\text{SiO}_2\text{+K}_2\text{O--}r\text{SiO}_2$	K ₁	73,0	1,9		25,1				720
$\text{CaO--}k\text{K}_2\text{O--}n\text{SiO}_2\text{+}m\text{K}_2\text{O--CaO--}j\text{SiO}_2\text{+CaO--}k\text{K}_2\text{O--}m\text{SiO}_2$	K ₂	52,6	10,2		37,2				869
$m\text{CaO--}n\text{B}_2\text{O}_3\text{--}k\text{SiO}_2$	B ₁	31,3	10,2				58,5		454
$\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\text{--CaO}\cdot\text{B}_2\text{O}_3\text{--SiO}_2$	B ₂	30,2	38,3				31,5		977
$m\text{CaO--}n\text{CaF}_2\text{--}k\text{SiO}_2$	CF	71,0	10,0			17,0			1199
$m\text{CaO--}n\text{Na}_2\text{SiF}_6\text{--SiO}_2$	NsF	57,0	10,0					33,0	931

При расчетах количество оксида кальция принимали, учитывая химический состав опочного вещества (CaO = 1,5...2,0 %). В сырьевой опочной массе обычно содержатся природные примеси, влияющие на температуру образования стекловидного расплава и свойства проектируемой газокерамики. Это обстоятельство вызывает необходимость выполнения петрохи-

мических расчетов для n -компонентных систем ($n > 3$). Расчет таких систем осуществляли, исходя из допущения об отсутствии химического взаимодействия между эвтектиками. В этом случае анализируемые смеси рассматривали по аналогии с расплавами типа «механическая смесь», свойства которых изменяются пропорционально объемному содержанию и свойствам составляющих компонентов.

С учетом сделанных упрощений температуру плавления четырехкомпонентной системы, состоящей из эвтектик $\text{CaO-Na}_2\text{O-SiO}_2$ (N_2 по табл. 2.6) и $\text{CaO-K}_2\text{O-SiO}_2$ (K_2 по табл. 2.5), можно определить по формуле

$$T_{(N_2+K_2)} = \frac{N_2 \cdot T_{N_2}}{N_2 + K_2} + \frac{K_2 \cdot T_{K_2}}{N_2 + K_2}, \quad (2.6)$$

где T_{N_2} и T_{K_2} – соответственно, температуры образования расплава состава N_2 и K_2 ;

N_2+K_2 – общее содержание расплавов для данных составов, %.

Результаты петрохимических расчетов многокомпонентных минеральных систем, характерных для составов керамик на основе опочного сырья, приведены в табл. 2.6.

Т а б л и ц а 2 . 6

Количество и температура расплава многокомпонентных систем
(на примере $\text{CaO-Me}_2\text{O-SiO}_2$)

Обозначение расплава*	Кол-во расплава, %	Химический состав сырьевой смеси, % по массе (для стеклообразующих оксидов)				T расплава, °С
		SiO ₂	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	
		83,4	1,6	1,5	1,11	
N_1	7,04	73,5	5,2	21,3		725
N_2	11,5	73,4	12,9	13,7		1047
K_1	4,4	73,0	1,9		25,1	720
K_2	3,0	52,6	10,2		37,2	869
$\Sigma(N_1+K_1)$	11,44					722,6
$\Sigma(N_2+K_2)$	14,5					998,6

* Обозначение расплава принято по данным, приведенным в табл. 2.5.

Согласно полученным данным наличие в составе исходной горной породы оксидов натрия и калия в количестве 2,5...3,0 % приводит к образованию 11,0...14,5 % расплава при температурах обжига, не превышающих 1000 °С. Анализ работ в области технологии получения клинкерных керамических изделий [1] показывает, что наличие в структуре обожженного черепка 15...20 % стекловидной фазы обеспечивает существенное улучшение эксплуатационных свойств материала.

Процесс упрочнения материала-основы при введении модификаторов фазового состава флюсующего действия подтверждается данными экспериментальных исследований, которые представлены на рис. 2.11–2.12.

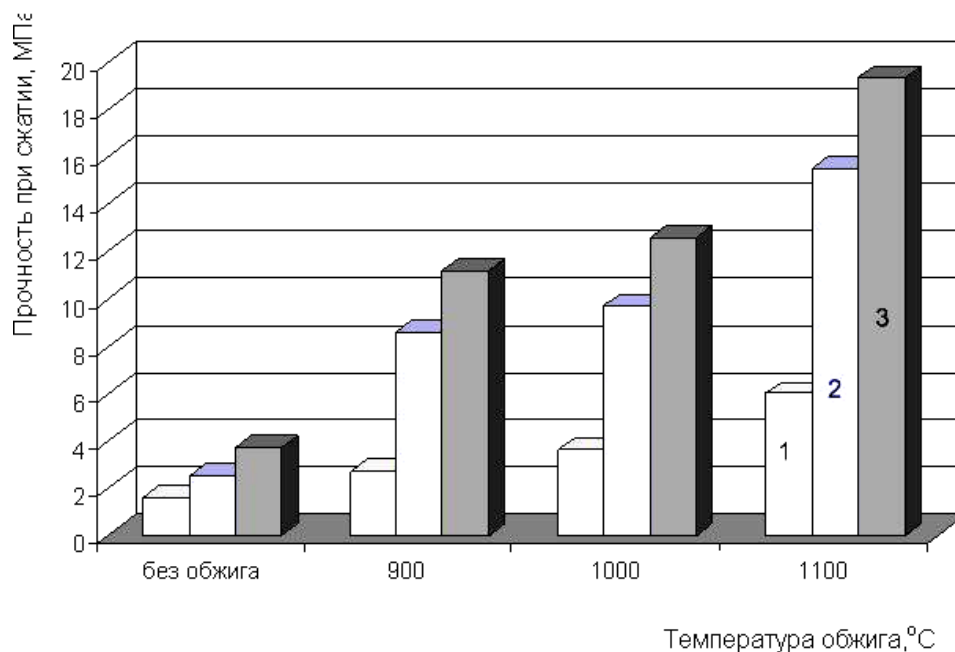


Рис. 2.11. Влияние температуры обжига и вида добавки на прочность опочного черепка (при В/Т=0,425):
 1 – базовый; 2 – с добавкой Na₂CO₃ (0,5 %);
 3 – с добавкой Na₂CO₃ (0,5 %) + Na₂SiO₃ (5 %)

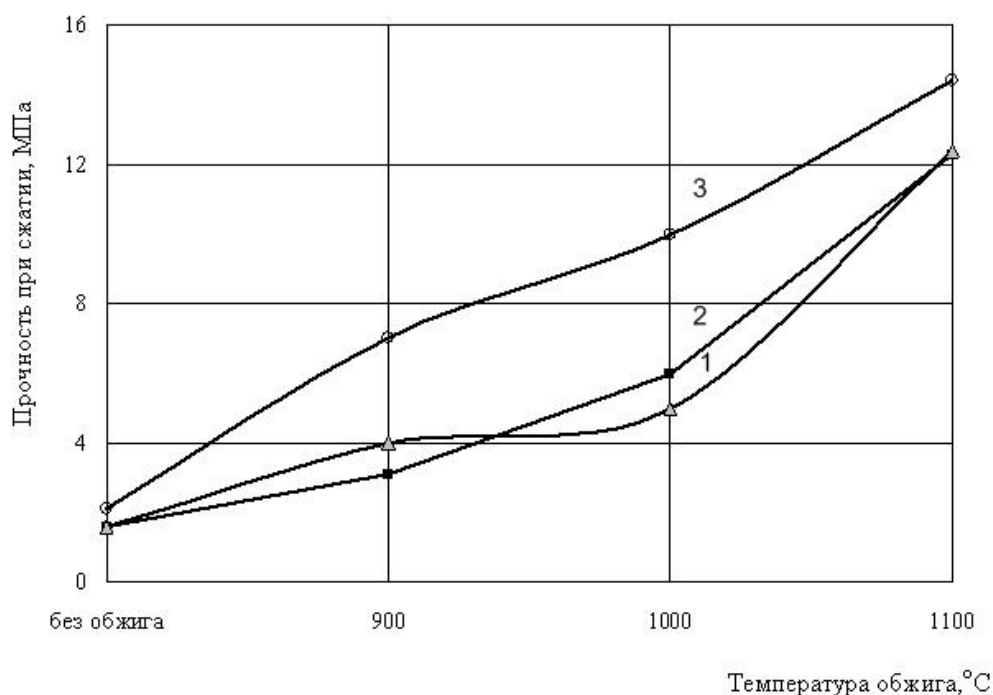


Рис. 2.12. Влияние температуры обжига и вида добавки на прочность опочного черепка (при В/Т=0,425):
 1 – базовый; 2 – с добавкой NaOH (0,04 %);
 3 – с добавкой Li₂CO₃ (0,04 %)

Как видно из приведенных графиков, Na-содержащие добавки (за исключением NaOH) эффективно повышают прочность опочной керамики. Влияние количества вводимой Na-содержащей добавки на формирование показателя прочности образцов было исследовано на примере тонкомолотой Na-силикат-глыбы (Na_2SiO_3). Результаты исследования представлены на диаграмме (рис.2.13).

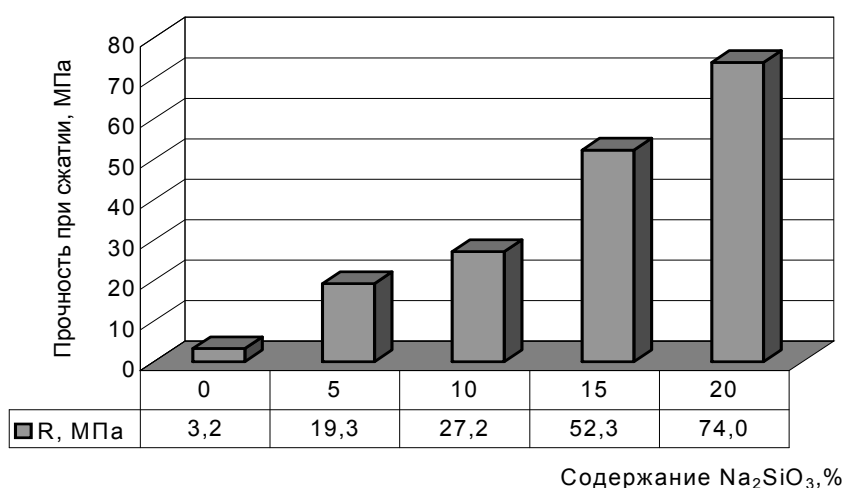


Рис. 2.13. Зависимость прочности черепка от содержания добавки Na-силикат-глыбы ($T_{\text{обж}}=1000\text{ }^\circ\text{C}$, $V/T=0,45$)

Анализ данных (см. рис. 2.13) показывает, что интенсификация процесса спекания структуры, достигаемая при введении флюсующей добавки, обеспечивает существенный рост прочностных показателей опочной керамики: введение порошка Na_2SiO_3 в количестве 15 % сопровождается более чем пятикратным увеличением прочности.

Для кристаллической фазы опочной керамики вероятность протекания важнейших структурообразующих процессов оценивалась по величине термодинамического потенциала (ΔG). Расчёт изобарно-изотермического потенциала реакций проводили по существующим методикам [38]. Анализ опубликованных данных о структурообразовании обжиговых кремнистых материалов, а также данных по химическому составу используемого опочного сырья позволил сделать вывод о том, что наиболее вероятными кристаллическими новообразованиями являются: альбит ($\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$); псевдоволластонит ($\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$); фаялит ($2\text{FeO}\cdot\text{SiO}_2$); муллит ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$); полиморфные разновидности кварца ($\beta\text{-SiO}_2$) в виде α - и β -кристобалита, γ - и α -тридимита.

Справочные термодинамические величины, использованные в расчётах, а также результаты вычислений приведены в табл. 2.7 и 2.8.

Т а б л и ц а 2 . 7

Термодинамические величины соединений [39, 40]

Соединение	Энтальпия ΔH_{298}^0 , кДж/моль	Энтропия S_{298}^0 , Дж/(моль·К)	Теплоёмкость, Дж/моль·К		
			Коэффициенты уравнения $C_p^0 = \varphi(T)$		
			a	$b \cdot 10^3$	$c \cdot 10^{-5}$
Al ₂ O ₃	-1675	50,9	114,6	12,9	-34,3
CaO	-635,1	39,7	49,6	4,5	-6,9
SiO ₂	-910,2	41,8	46,9	34,3	-11,3
FeO	-266,3	59,4	51,7	6,8	-1,6
CaO·SiO ₂	-1629,2	87,4	108,1	16,5	-23,6
2FeO·SiO ₂	-1497,9	145,0	152,6	39,1	-28,0
3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	-6985,6	250,8	352,0	83,6	-104,5

Т а б л и ц а 2 . 8

Значения величины термодинамического потенциала (ΔG)

Соединение	ΔG , кДж/моль
CaO·SiO ₂	-88,6
2FeO·SiO ₂	-13,3
3Al ₂ O ₃ ·2SiO ₂	-87,6

Результаты проведённых термодинамических расчётов подтверждают возможность образования муллита, псевдоволластонита и фаялита при обжиге модифицированных опочных смесей.

На рис. 2.14 представлена рентгенограмма кремнистой разновидности опоки, обожженной при температуре 900 °С. Расшифровка пиков показывает, что в результате обжига формируется минерально-фазовый состав, основными компонентами которого являются: кварц (Кв), тридимит (Тр), кристобалит (Кр). В качестве дополнительной фазы присутствует муллит (М), идентификацию которого провели по характерным рефлексам в областях 5,34-3,45-3,39 Å.

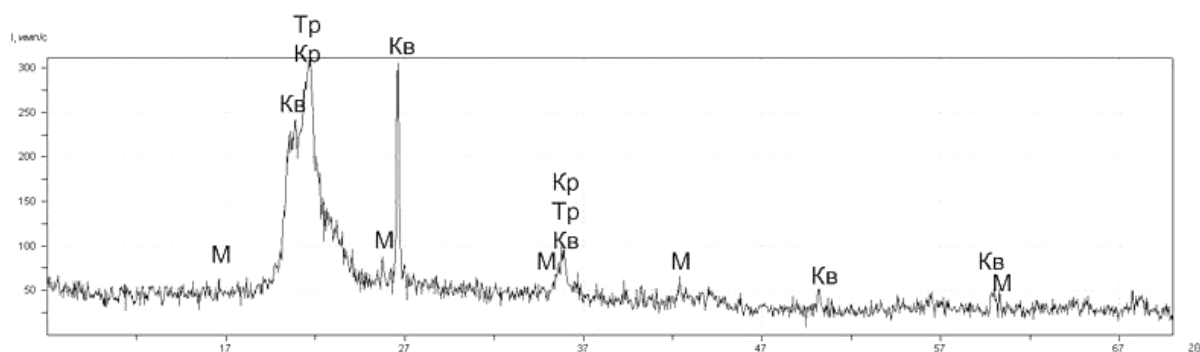


Рис. 2.14 Рентгенограмма опоки, обожженной при 900 °С

Как показывают данные (рис. 2.15), увеличение температуры обжига с 900 до 1100 °С сопровождается процессом тридимитизации фазового состава, что следует из уменьшения относительной интенсивности линий кварца и, наоборот, увеличения интенсивности кристобалитотридимитовой фазы. Рефлексы муллитовой фазы заметно снижаются и становятся практически незаметными, что связано с развитием процесса образования стекловидного расплава при увеличении температуры обжига.

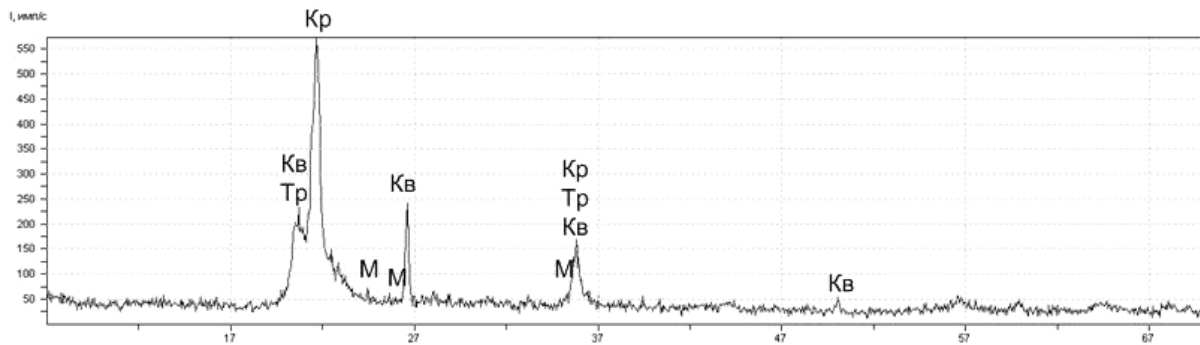


Рис. 2.15. Рентгенограмма опоки, обожженной при 1100 °С

Модифицирование опочного вещества содой в количестве 0,5 % приводит к исчезновению рефлексов муллита (при температуре обжига образца 900 °С) и образованию незначительного количества Na-полевого шпата (альбита). Присутствие данной фазы на рентгенограмме испытываемого образца идентифицировали по пикам в областях 3,78-3,68-3,62 Å (рис. 2.16).

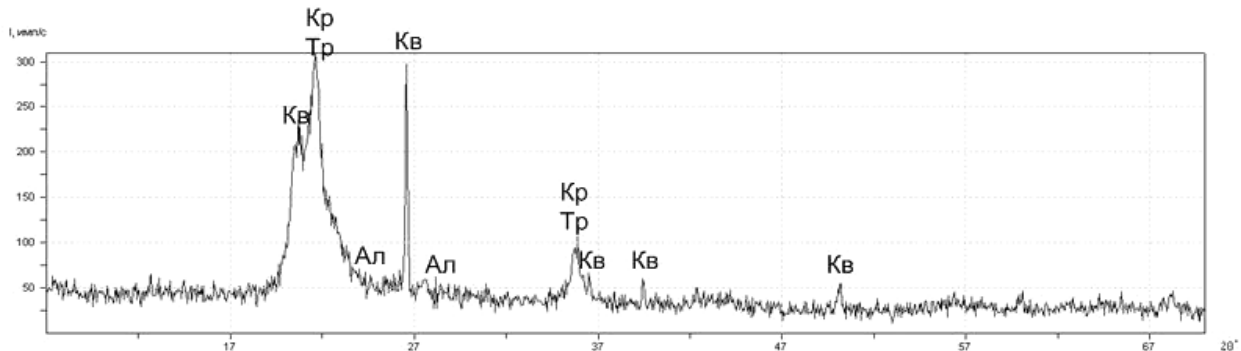


Рис. 2.16. Рентгенограмма опоки, содержащей 0,5 % Na_2CO_3 и обожженной при 900 °С

Увеличение температуры обжига предыдущего состава до 1100 °С сопровождается ростом содержания тридимитовой составляющей за счет прохождения полиморфных превращений кварца и исчезновения фазы альбита.

Образцы опоки, модифицированной смесью 0,5 % Na_2CO_3 и 10 % тонкомолотой натриевой силикат-глыбы, после обжига при температуре 900 °С характеризуются преобладанием в составе тридимитовой состав-

ляющей. Сравнение интенсивности характерных пиков на рис. 2.17 и 2.18 свидетельствует об ускорении процесса образования тримитовой фазы (при одинаковой температуре обжига) в случае использования двухкомпонентного модификатора.

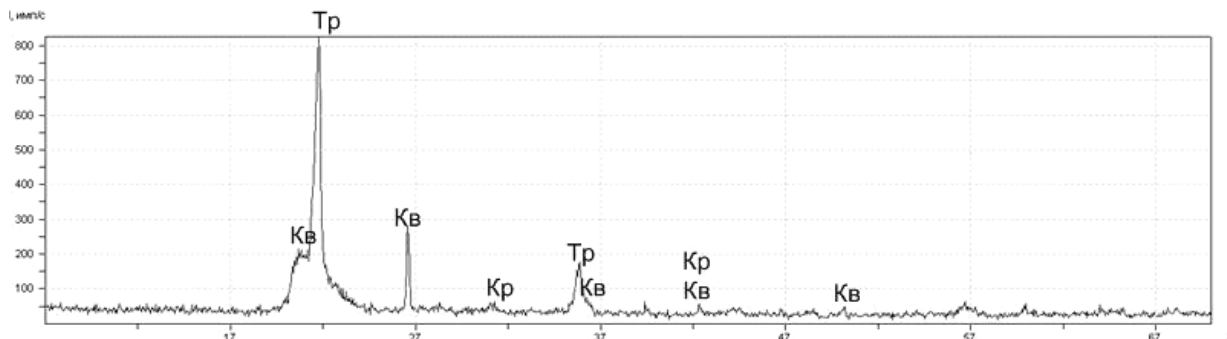


Рис. 2.17. Рентгенограмма опоки, содержащей 0,5 % Na_2CO_3 и обожженной при 1100 °С

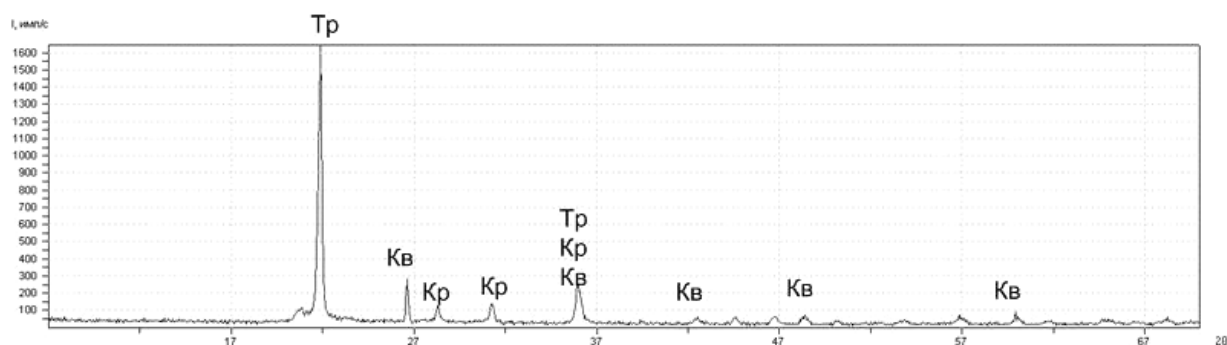


Рис. 2.18. Рентгенограмма опоки, содержащей добавку 0,5 % Na_2CO_3 и 10 % Na-силикат-глыбы, и обожженной при 900 °С

Увеличение температуры обжига предыдущего состава до 1100 °С (рис. 2.19) приводит к дальнейшему уменьшению относительного содержания кристаллического кварца, часть которого расходуется на формирование дополнительного количества тримита.

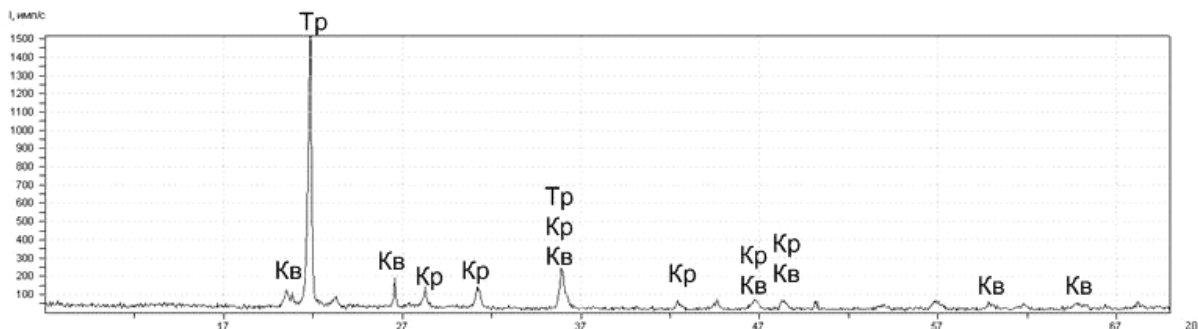


Рис. 2.19. Рентгенограмма опоки, содержащей добавку 0,5 % Na_2CO_3 и 10 % Na-силикат-глыбы и обожженной при 1100 °С

2.2.4. Влажностные деформации сырцовых масс

Сырьевые смеси, применяемые в технологии ячеистой керамики, характеризуются повышенными значениями водотвердого отношения, что приводит к формированию сырца с высокой начальной влажностью и интенсифицирует развитие сжимающих капиллярных сил. Отрицательное воздействие усадочных деформаций усиливается за счет ускоренного испарения влаги со стороны открытой поверхности, обуславливающего увеличение градиента влажности по сечению материала.

Анализ механизма усадки опочного сырца логично проводить, используя аналогию с процессами, сопровождающими сушку глиняных изделий [41]. Свободная влага, заполняющая поровое пространство сильно увлажненной опочной массы, создает в капиллярах вогнутые мениски на границе «поверхность изделия – воздух». В процессе сушки происходит ее испарение и величина поверхностного натяжения жидкости в осушаемых капиллярах увеличивается, что приводит к сжатию соответствующих зон. Размеры изделия сокращаются до тех пор, пока частички опоки не достигнут положения частичного соприкосновения, которое сопровождается их механическим защемлением. Когда усилия, вызванные взаимным трением, сравниваются с противоположно направленными силами поверхностного натяжения капиллярной влаги, процесс дальнейшего уменьшения размеров изделия прекращается. Это соответствует моменту, когда средняя влажность материала достигнет значения критической влажности $W_{кр}$. После этого снижение влагосодержания приводит только к росту внутренней микропористости изделий, не влияя на их объем.

В настоящее время отсутствует единая теория возникновения и развития усадочных деформаций, сопровождающих процесс твердения вяжущих веществ и конгломератов на их основе. В ходе исследований [42] было установлено, что величины капиллярной пористости и усадки в области значений последней до 0,1 % находятся в прямой пропорциональной зависимости. Это свидетельствует о том, что в этих пределах усадка происходит за счет напряжений, возникающих в капиллярных порах при удалении из них влаги. В работе [43] приведена зависимость между усадочными деформациями (ξ_6) и величиной влагопотерь (w) бетона:

$$\xi_6 = A \cdot w + B \cdot w^2. \quad (2.7)$$

Как показал анализ опубликованных работ [41, 44] и результатов исследований, выполненных авторами, значительное влияние на величину усадочных деформаций пористых материалов оказывают параметры макроструктуры. Применительно к сырцовым ячеистым массам факторы, влияющие на усадку, можно расположить следующим образом:

- 1) водотвердое отношение сырьевой массы и дисперсный состав твердых компонентов;
- 2) показатели влаго- и теплопроводности структуроформирующего сырьевого компонента;
- 4) условия сушки;

- 5) наличие отошающих или расширяющихся добавок;
- 6) вид и количество поверхностно-активных веществ.

Важным технологическим параметром процесса сушки является критическая влажность опочного сырца $W_{кр}$, которая определяет прекращение усадки и окончание периода постоянной скорости сушки. Очевидно, что критическая влажность зависит от параметров микроструктуры и свойств природного сырья. По аналогии с глинистыми составами для исследуемых опочных сырьевых смесей численное значение $W_{кр}$ можно определить, используя зависимость для случая параболического распределения влаги в материале [45]:

$$W_{кр} = W_c + \frac{100M \cdot S}{A \cdot K \cdot \rho_m}, \quad (2.8)$$

где W_c – предел сорбционного увлажнения, %;

S – толщина изделия, м;

M – интенсивность сушки, кг/(м²·ч);

A – коэффициент, учитывающий форму изделия (для пластины $A = 6$);

K – коэффициент потенцилопроводности опоки;

ρ_m – плотность минерального сырья, кг/м³.

Из уравнения (2.8) следует, что значение $W_{кр}$ всегда больше значения W_c . Критическая влажность возрастает с увеличением толщины изделия и интенсивности процесса сушки и уменьшается с ростом плотности и потенцилопроводности опочного сырца. При использовании опок одинакового состава и свойств внутренние напряжения, возникающие от стесненной усадки внутренних частей, тем выше, чем больше разница между величинами $W_{кр}$ и W_c .

На рис. 2.20 приведены результаты исследований развития усадочных деформаций для сырьевой смеси базового состава (опока:вода = 1:0,425).

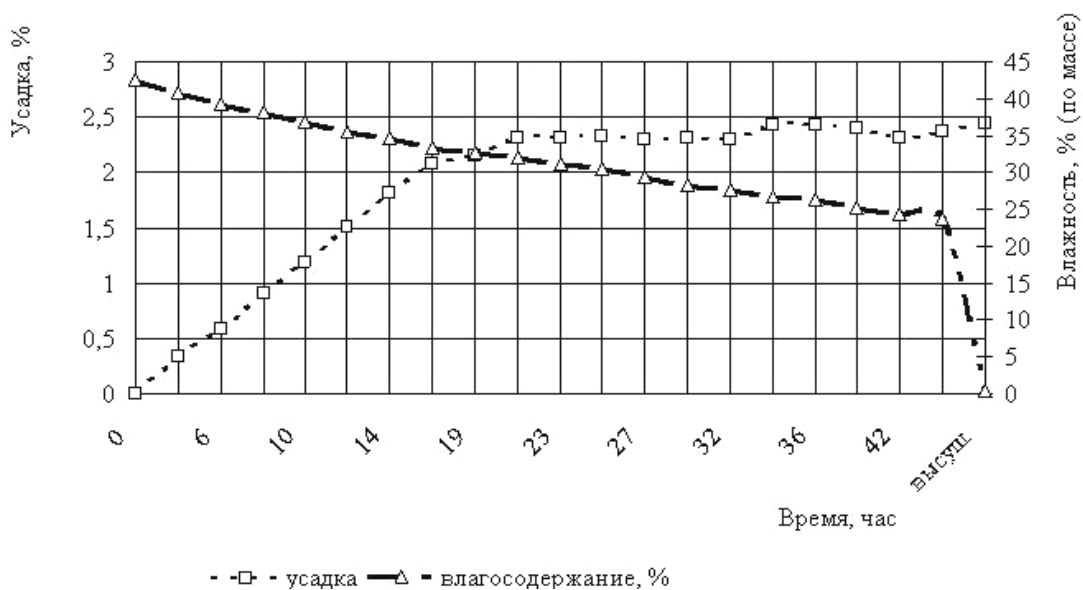


Рис. 2.20. Усадочные деформации базового состава опочного сырца (В/О=0,425)

Влияние модифицирующих добавок на усадку опочных составов показано на рис. 2.21 и 2.22.

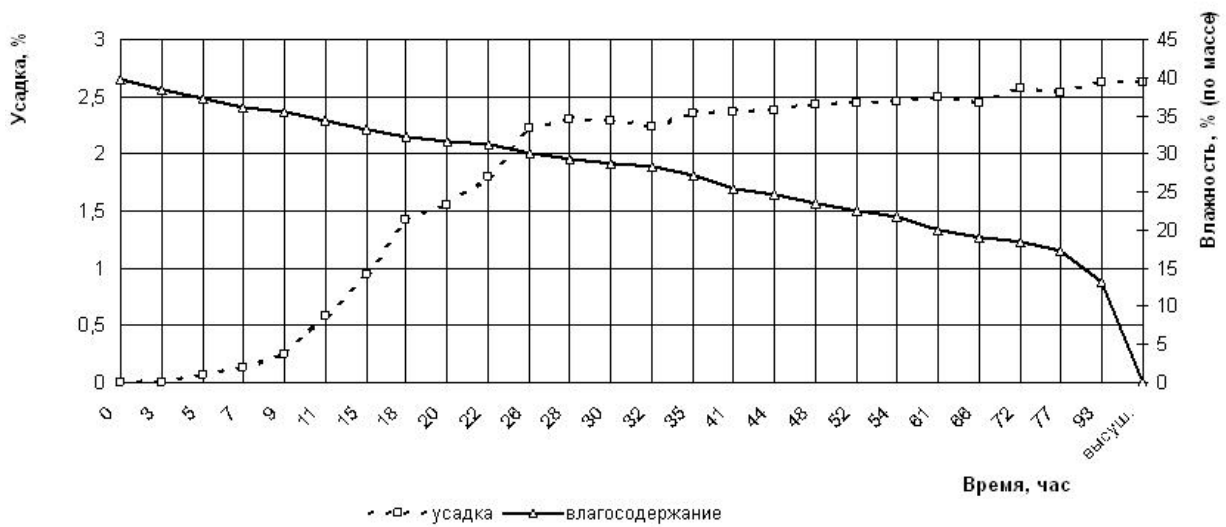


Рис. 2.21. Усадочные деформации опочного сырца, содержащего добавку 0,5 % соды ($V/O = 0,425$)

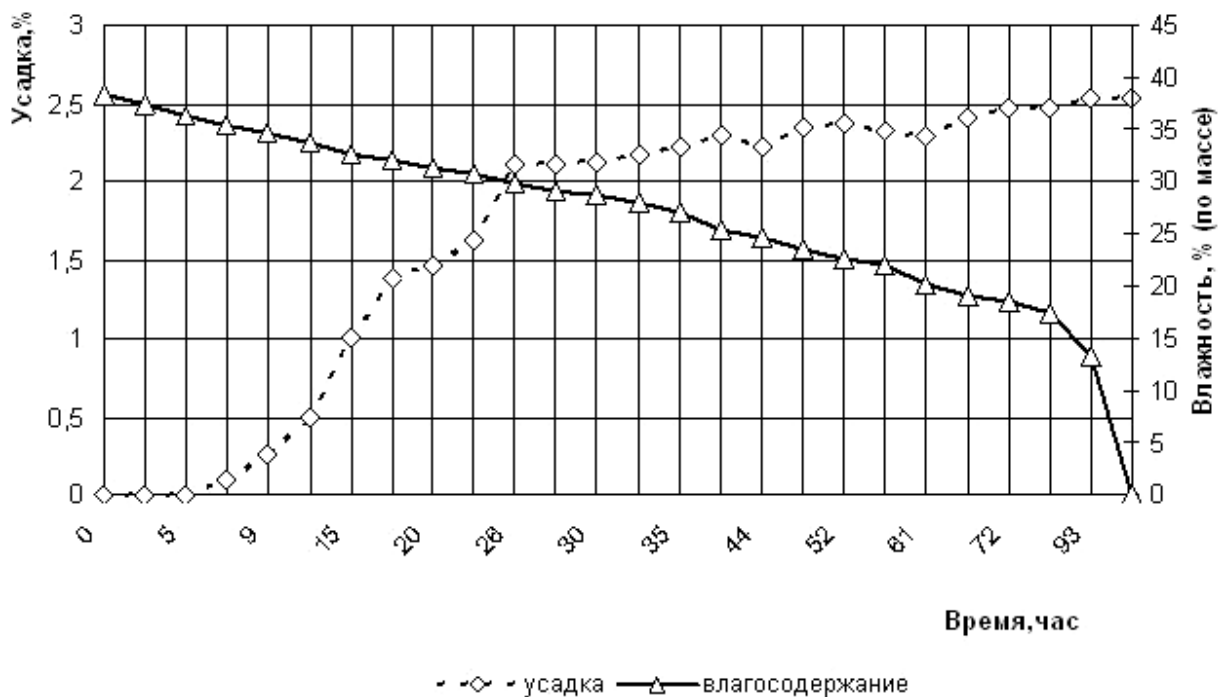


Рис. 2.22. Усадочные деформации опочного сырца, содержащего добавку 0,3 % жидкого стекла ($V/O = 0,425$)

Значение коэффициента линейной усадки опочных композиций рассчитывали по следующей зависимости

$$\alpha = \frac{\delta}{(W_{\text{н}} - W_{\text{к}}) - \delta W_{\text{н}}},$$

где δ – относительная усадка;

$W_{\text{н}}$ и $W_{\text{к}}$ – начальная и конечная (критическая) влажность опочного сырья в % (по массе).

Применительно к исследуемому опочному сырью, усадка которого наблюдается в первом периоде сушки (см. рис. 2.20), зависимость между линейным размером и влажностью образца выражается уравнением вида:

$$l_w = l_k [1 + \alpha (W - W_k)] = l_k [1 + 0,00234(W - 31)].$$

2.2.5. Свойства разработанной газокерамики

Как показали результаты проведенных экспериментальных исследований, полученный материал имеет конкурентоспособные показатели основных эксплуатационных свойств, а использование в качестве минеральной основы дешёвого и доступного опочного сырья позволяет значительно улучшить технико-экономические показатели производства (табл. 2.9).

Т а б л и ц а 2 . 9

Показатели свойств существующих аналогов
и разработанных материалов

Наименование показателя	Промышленные аналоги		Разработанный материал
	ШЛ-04	ПД-400	
Плотность, кг/м ³	400	351...400	350...400
Прочность при сжатии, МПа	0,9...1,0	0,7...1,4	0,8...1,6
Сорбционное увлажнение, % ($\varphi=97\%$)	НН	5...7	2...5
Теплопроводность, Вт/(м·°С)	0,10...0,12	0,10...0,12	0,09...0,11
Температура эксплуатации, °С	1300	900	900
Стоимость, руб./м ³	от 7800	от 8500	3300

Результаты экспериментов показали, что при формировании в структуре газокерамики до 25...30 % низкотеплопроводной стекловидной фазы решается проблема высокой гигроскопичности, характерной для традиционной пористой керамики, что обеспечивает сохранность теплозащитных качеств материала в процессе эксплуатации.

Таким образом, в ходе проведенной работы установлено, что экологически чистое и доступное местное опочное сырье может быть использовано в качестве минеральной основы для изготовления эффективных стекло-

керамических материалов с пористой структурой, формируемой по технологии газокерамики.

2.3. Материалы, формируемые способом термического вспучивания

Рассмотрим результаты исследований по разработке составов гранулированных стеклокристаллических теплоизоляционных материалов, ячеистая структура которых формируется под воздействием высокой температуры. В качестве основного сырьевого компонента использовалась кремнистая разновидность сурской опоки. Цель исследований заключалась в экспериментальном подтверждении возможности применения доступного природного сырья для получения пористого зернистого материала с улучшенными показателями теплофизических и механических свойств.

Известно, что пеностекольные изделия составляют наиболее эффективную группу в ряду современных теплоизоляционных материалов. Одним из основных недостатков, сдерживающих их широкое применение в жилищном строительстве, является их высокая стоимость (свыше 350 \$ за 1 м³). На формирование цены негативно влияют узость сырьевой базы, а также высокая энерго- и металлоемкость процесса производства (удельный расход условного топлива более 120 кг на 1 м³) [46, 47].

Исследования направлены на расширение существующей сырьевой базы для производства материалов на основе пеностекла за счет широкодоступных природных ресурсов – рыхлых кремнеземистых горных пород с высоким содержанием SiO₂. В ряде работ показана перспективность такого подхода [48, 49], а в практическом плане наиболее успешным, по видимому, можно считать опыт ЗАО «Пеноситал» (Пермь) по опытно-промышленному производству гранулированного пеностекла с использованием глин, суглинков, цеолитов и песчаников [47]. Однако, несмотря на положительные результаты, широкого распространения данная технология не получила. Это вызывает необходимость проведения дополнительных исследований по разработке технологических решений в области создания пеностеклокристаллических материалов (ПСкМ) с использованием нетрадиционных видов природного сырья.

В ряде областей ПФО, в том числе и в Пензенской области, отсутствуют производственные мощности по выпуску эффективных утеплителей, но вместе с тем имеются значительные и неиспользуемые в настоящее время запасы кремнеземистых пород. В пределах Поволжской геологической зоны кремнеземистых горных пород в виде опок существенно больше, чем месторождений диатомитов и трепелов. Месторождения опок отличаются большими запасами и выдержаны по составу. Зачастую залежи опоки, являющиеся рельефообразующими отложениями, расположены на поверхности [30, 50].

В исследованиях использовали кремнистую разновидность сурской опоки, которая характеризуется высоким содержанием аморфного опаловидного кремнезема SiO_2 и более постоянным химическим составом в сравнении с другими типами природного кремнеземистого сырья [30]. Методом рентгено-фазового анализа установлено, что основными рентгеноидентифицируемыми компонентами опоки являются кремнийсодержащие минералы – β -кварц (К) и γ -тридимит (Т), содержание которых составляет 34...40 %. Исходя из химического состава можно заключить, что оставшаяся часть SiO_2 сформирована аморфным кремнеземом.

Дополнительным аспектом, положительно отличающим опоку от традиционного кварцевого или стекольного сырья, является пониженная твердость, что существенно снижает энергозатраты и замедляет абразивный износ помольного оборудования.

Важным фактором повышения конкурентоспособности строительных материалов, получаемых из минеральных расплавов, является снижение стоимости за счет уменьшения удельного расхода топлива. В случае использования опочного сырья этому способствует наличие в его составе, наряду с хемогенным опалом, естественных примесей с высокоразвитой внутренней поверхностью – кремневых остатков организмов в виде радиолярий, спикул губок, панцирей диатомей. Преобладание в составе аморфного кремнезема также ускоряет физико-химические процессы взаимодействия опочной массы и вводимых флюсующих щелочесодержащих добавок, происходящие на различных этапах формирования микроструктуры ПСкМ.

Для проведения испытаний образцы материала получали двумя способами:

1) по классической технологии, состоящей из двух основных этапов: первый – изготовление полуфабриката (рис. 2.23); второй – высокотемпературное вспенивание сырьевой смеси, получаемой совместным помолом стеклогранулята, газообразователя и корректирующих добавок;

2) по одностадийной технологии, предусматривающей совмещение процессов стеклообразования и высокотемпературного вспучивания гранулированного сырца.



Рис. 2.23. Гранулы сырца

Для формирования стекла были опробованы следующие добавки: природный доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), кальцинированная сода (Na_2CO_3), поташ (K_2CO_3), селитра (KNO_3), борная кислота (H_3BO_3), оксиды CaO и MgO , бой стекла (ЗАО «Бахметьевская Артель», г. Никольск) и др. Состав стеклобоя характеризовался следующим содержанием оксидов, % по массе: SiO_2 – 58; PbO – 24; K_2O – 16; ZnO – 1; B_2O_3 – 1.

При приготовлении сырьевой смеси природную опоку измельчали до удельной поверхности $3500\dots4000 \text{ см}^2/\text{г}$ и смешивали с корректирующими добавками.

Общее содержание опочного компонента в составе смеси варьировалось от 55 до 65 %, а флюсующих добавок – 30...35 %. С целью придания обожженной массе определенной цветовой гаммы применяли вещества, содержащие атомы Cr (зеленый гранулят) и Mn (коричневый гранулят), при этом ее вспенивание производили при помощи газообразователя, не содержащего углерод (1...2 %).

Перед обжигом смесь для изготовления стеклогранулята увлажняли и компактировали. Окончательный фазовый состав ПСкМ синтезировался в процессе термообработки из минеральных расплавов « $k\text{Na}_2\text{O}-n\text{CaO}-m\text{SiO}_2$ » (или « $m\text{CaO}-n\text{PbO}-k\text{SiO}_2$ ») и остаточной кристаллической фазы (высокотемпературные модификаций SiO_2).

Показатели свойств разработанного пеностеклогранулята и их сравнение с существующими промышленными аналогами показаны в табл. 2.10.

Т а б л и ц а 2 . 1 0

Показатели свойств материалов

Наименование показателя	Керамзитовый гравий	Пеностекло	Вариант состава разработанного материала	
			1	2
Прочность, МПа	0,6...4,5	0,8...1,0	1,0...1,5	1,1...1,8
Водопоглощение, мас. %	8...12	Не более 5	3,0...3,5	2,8...4,9
Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	300...800	100...250	250...300	290...430
Теплопроводность, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot^\circ\text{C})$	0,12...0,16	0,050...0,065	0,065...0,070	0,059...0,063
Цвет	коричневый	Черный, темно-серый	Белый, желтый, зеленый, красный	Темно-серый

П р и м е ч а н и е . 1 – на основе сурской опоки и двухкомпонентного безуглеродного газообразователя; 2 – на основе боя стекла и углеродсодержащего газообразователя.

Анализ полученных данных показывает, что ПСкМ позитивно отличается по показателям теплопроводности и водопоглощения от широко ис-

пользуемого в настоящее время насыпного материала – керамзитового гравия плотностью 400...600 кг/м³ ($W = 8...12\%$, $\lambda = 0,12...0,16$ Вт/(м·°С)).

Пониженная теплопроводность отдельных составов ПСкМ (см. состав № 2, табл. 2.10) объясняется наличием в них PbO, высокая атомная масса которого препятствует быстрому распространению теплового потока по стекловидной фазе. Как известно, коэффициент теплопроводности зависит от рецептуры стекла и может быть рассчитан по формуле аддитивности. Согласно произведенным расчетам, используемые свинецсодержащие стекла при плотности 3170 кг/м³ характеризуются коэффициентом теплопроводности 0,61 Вт/(м·°С), тогда как обычные оконные стекла при плотности 2400...2600 кг/м³ имеют $\lambda = 0,82...0,97$ Вт/(м·°С).

Внешний вид и характер пористой структуры материала сильно зависят от способа вспенивания: гранулы, полученные по двухстадийной технологии, имеют более гладкую поверхность и меньшую открытую пористость (рис. 2.24).

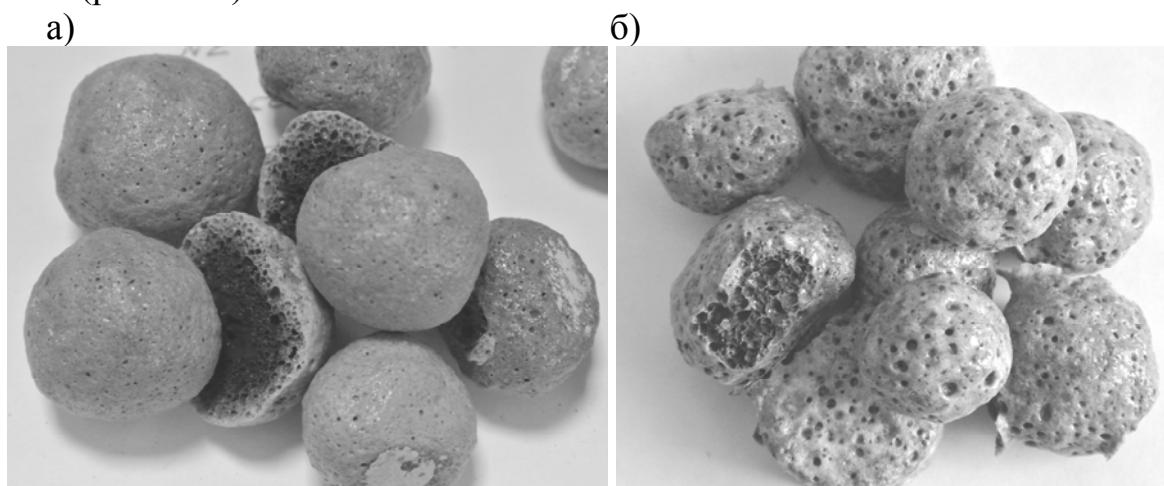


Рис. 2.24. Образцы материала:

а – по классической технологии; б – по одностадийной технологии

Таким образом, использование опочного сырья, а также отходов, образующихся при производстве стекла на ЗАО «Бахметьевская Артель», дает возможность существенно расширить сырьевую базу, снизить энергоемкость и упростить технологию производства пористых стекловидных материалов. В практическом плане это позволит использовать для комплектования технологических линий серийно производимое отечественное оборудование.

Основной областью применения материала является насыпная теплоизоляция и выравнивающие конструкционно-теплоизоляционные слои, используемые в различных строительных конструкциях: эксплуатируемая плоская кровля, чердачные и межэтажные конструкции, теплоизоляция колодцевой кладки и стен подвалов, дорожного полотна, а также технологического оборудования. В качестве искусственного пористого заполнителя ПСкМ может стать альтернативой вспученному перлиту или вермикулиту в производстве теплозащитных или облегченных штукатурных смесей.

3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Нормативы и предлагаемые различными авторами методики теплотехнического проектирования наружных ограждений основываются на теплофизических свойствах и показателях традиционных и новых строительных материалов, ограждающих конструкций на их основе. Некоторые из этих свойств и показателей, рассмотренные в [51], отражены в данной монографии.

3.1. Теплофизические свойства строительных материалов и теплотехнические показатели наружных ограждающих конструкций в нормах тепловой защиты зданий

Важнейшим теплофизическим свойством, во многом определяющим теплоизолирующую способность ограждающей конструкции, является *теплопроводность* строительного материала. На нее влияют многие факторы: плотность материала и распределение в нем пор, теплопроводность основного материала, его влагосодержание, температура окружающей среды.

Коэффициент теплопроводности зависит от средней плотности материала. Поскольку строительные материалы имеют капиллярно-пористую структуру,

то их теплопроводность должна находиться в пределах между теплопроводностью частиц основного материала и теплопроводностью парообразной и жидкой фаз влаги. В относительно сухом материале чем больше его пористость, тем ближе величина его теплопроводности к величине теплопроводности воздуха.

Теплопроводность двух одинаковых материалов с равными плотностями и пористостью может быть неодинаковой. В этом случае меньшую теплопроводность имеет материал, содержащий большее количество мелких пор, чем материал, содержащий более крупные поры и каверны. В последних, особенно если они являются сквозными и сообщающимися между собой, может возникать конвективное движение воздуха. Это повышает теплопроводность строительного материала.

Теплопроводность строительных материалов зависит от вида материала (металл, камень, материал органического происхождения), его химического состава, фазовой структуры. Теплопроводность металлов возрастает с ростом их электропроводности. Именно поэтому одним из недостатков алюминиевых профилей, применяющихся в оконных переплетах, является высокое значение коэффициента теплопроводности этого металла (почти в 4 раза больше, чем у стали). В каменных материалах, в которых теплота не может переноситься потоком электронов, на теплопроводность

вливают в основном тепловые колебания атомов. При этом теплопроводность материала тем меньше, чем тяжелее атомы или их группы в структуре кристалла и чем слабее связь между ними. Естественные и искусственные стекловидные каменные материалы менее теплопроводны, чем материалы с кристаллической структурой. Для анизотропных материалов (дерево, прессованные волокнистые материалы и др.), кроме того, характерна зависимость теплопроводности от направления теплового потока. Так, для сосны, ели и дуба теплопроводность вдоль волокон примерно в 2 раза выше, чем поперек волокон.

Теплопроводность строительных материалов в значительной степени зависит от их влагосодержания. В условиях переменных температурно-влажностных воздействий на ограждающую конструкцию влага, у которой коэффициент теплопроводности примерно в 20 раз выше, чем у воздуха, занимает большую или меньшую часть порового пространства в структуре материала, вытесняя воздух. Согласно опубликованным результатам исследований, коэффициент теплопроводности ячеистого бетона может увеличиться почти в два раза при росте его влагосодержания с нескольких процентов до 14...16 %. Таким образом, в течение начального, довольно длительного периода эксплуатации наружные ограждающие конструкции могут иметь значительно сниженный уровень теплоизоляции из-за сверхнормативной влажности утеплителя.

Поэтому при проектировании наружных ограждающих конструкций учитывают влияние на коэффициент теплопроводности влажностного режима помещений и климатических условий строительства. Его расчетные значения принимают по средней плотности материала без учета характера распределения пор в его структуре, их диаметра, влияния температуры. Для вновь исследуемых составов и поровой структуры строительных растворов и бетонов коэффициент теплопроводности определяют экспериментальным путем.

В подразд. 4.3 приведены результаты научных исследований кафедры «Городское строительство и архитектура» Пензенского ГУАС по теплопроводности материалов наружного слоя ограждающей конструкции в зоне отрицательных температур, при которых теплопроводность влажных строительных материалов определяется характером фазовых превращений влаги и может отличаться от теплопроводности этих же материалов в зоне положительных температур. На теплопроводность наружного слоя в этих условиях влияет влагосодержание материала: если количество влаги недостаточно для заполнения льдом крупных пор, с которых начинается процесс льдообразования в поверхностном слое, то теплопроводность материала снижается. На стенках крупных пор влага может выпадать в виде инея, теплопроводность которого ниже, чем теплопроводность льда и влаги. Большое влагосодержание материала, напротив, способствует образованию целых

микромассивов промерзшей структуры материала, являющихся, по существу, «мостиками холода», которые интенсифицируют процесс передачи тепла.

Теплопроводность большинства строительных материалов увеличивается с повышением температуры ввиду возрастания кинематической энергии их молекул.

Теплопередача через наружное ограждение может происходить и с помощью конвекции, которая осуществляется путем перемещения частиц воздуха, поглощающих тепло в одном и отдающих его в другом, более холодном месте. Конвективный теплообмен может быть естественным (свободным), когда воздух движется за счет разности плотностей и энергии нагретого и более холодного слоев. Для повышения скорости движения воздуха и увеличения теплопереноса используют принудительную конвекцию, которая создается с помощью вентиляторов.

Естественную конвекцию широко применяют в архитектурно-строительном проектировании при разработке конструкций наружных ограждений и объемно-планировочных решений зданий, так как ее использование в отличие от принудительной конвекции не требует затрат энергии и поэтому может считаться высокоэффективным мероприятием.

Третий вид теплопередачи осуществляется путем излучения тепла поверхностями твердых тел, разделенных воздушным промежутком или даже безвоздушным пространством. Лучистая энергия излучения значительно возрастает с температурой и в форме электромагнитных волн передается от поверхности одного тела к поверхности другого.

Для проектирования ограждающих конструкций интерес представляют инфракрасные невидимые и световые лучи с длиной волны от 0,4 до 800 мкм, которые обладают тепловым излучением (радиацией). И те, и другие лучи подчиняются одним и тем же закономерностям распространения, отражения и преломления, которые эффективно используют в конструкциях светопрозрачных ограждений для оптимизации тепло- и светотехнических характеристик, регулирования тепловой и световой защиты с помощью специальных стекол, отражающих пленок, солнцезащитных устройств и др.

Другим важным теплофизическим свойством строительных материалов является *теплоемкость*, которая характеризует способность материала накапливать теплоту при нагревании. Удельная теплоемкость бетонов и растворов различной плотности из неорганических строительных материалов, а также минераловатных, стекловолоконистых материалов составляет 0,84 кДж/(кг·°С), кирпича глиняного, керамического и силикатного, каменных материалов (в сухом состоянии) – 0,88 кДж/(кг·°С).

На теплофизические свойства наружных ограждений большое влияние оказывает их *воздухопроницаемость*. В подразд. 4.1 изложены результаты исследований авторов монографии по оценке энергосберегающего эф-

факта, возникающего при противоточном движении холодного инфильтрующегося воздуха и теплового потока из помещения.

Под воздухопроницаемостью понимают свойство наружного ограждения или его материала пропускать воздух при наличии разности его давлений на противоположных сторонах конструкции. Для определения расхода воздуха через наружное ограждение необходимо установить распределение давлений внутри и снаружи здания.

Причиной возникновения разности давлений является тепловой и ветровой напоры. Процесс переноса воздуха через ограждение называется инфильтрацией, если с наружной стороны его давление больше, чем с внутренней, и эксфильтрацией, если большее давление наблюдается с внутренней стороны ограждения. Тепловой напор, являющийся постоянным фактором воздействия на здание, возрастает с увеличением высоты здания и разности температур на наружной и внутренней поверхностях ограждающей конструкции. В верхней части здания (или помещения) происходит эксфильтрация, так как под действием теплового напора давление на внутреннюю поверхность ограждения превышает величину давления на наружную поверхность. В нижней части здания (или помещения) наблюдается инфильтрация, поскольку давление на внешнюю поверхность ограждения больше, чем на внутреннюю. В средней части здания (помещения) проходит нейтральная плоскость, на уровне которой воздух через отверстие в стене двигаться не будет. Положение этой плоскости зависит от расположения и площади вытяжных и приточных отверстий.

В условиях воздействия ветра расчет инфильтрации выполняют с учетом суммы ветрового и теплового давления.

При эксплуатации современных, особенно многоэтажных, зданий с ограждающими конструкциями из сборных элементов воздухопроницаемость оказывает значительное влияние на микроклимат и теплопотери помещений, температурно-влажностный режим наружных ограждений. При инфильтрации холодный воздух медленно движется через поры и капилляры массива ограждения, вызывая понижение температуры и выпадение конденсационной влаги. Инфильтрация холодного воздуха через примыкания оконных элементов и стыковые соединения наружных панелей стен в большей мере сказывается на уровне величины теплопотерь здания, чем его инфильтрация через глухие участки ограждения.

Воздухопроницаемость наружной ограждающей конструкции можно значительно уменьшить конструктивными мероприятиями. Например, оштукатуривание кирпичной стены или кладки из легкобетонных камней слоем цементно-песчаного раствора увеличивает их сопротивление воздухопроницанию в десятки раз. Установка в притворах окон дополнительных прокладок существенно уменьшает приток в помещение холодного воздуха.

Паро-, влагопроницаемость ограждающих конструкций влияет на их долговечность, теплопроводность, санитарно-гигиенические показатели. Влияние степени увлажнения материала ограждения на его теплопроводность при отрицательных температурах было обосновано результатами исследований авторов (см. подразд. 4.3). Влагосодержание поверхностных слоев надземных ограждающих конструкций, непосредственно не увлажняемых атмосферной, капиллярной или конденсационной влагой, находится в пределах сорбционного. В толще наружного ограждения влагосодержание материала по ряду причин может быть выше сорбционного. В условиях, когда отсутствует контакт поверхности ограждения с жидкой влагой, увлажнение наружного ограждения происходит за счет движения (диффузии) водяного пара при возникновении определенной разницы величин упругостей водяного пара в воздушной среде и порах материала на граничащей поверхности.

Значительная разница упругостей водяного пара наблюдается в зимний период эксплуатации здания, когда содержание водяных паров во внутреннем, более теплом воздухе становится больше, чем в наружном, более холодном. При одинаковой относительной влажности холодной и теплой воздушных сред упругость водяного пара приобретает большую величину в теплом воздухе.

В холодный период эксплуатации отапливаемого здания всегда будет существовать значительная разность упругостей водяного пара во внутренней и наружной воздушных средах, являющаяся потенциалом переноса потока водяного пара.

Сам факт паропроницаемости строительного материала не представляет никакой опасности для эксплуатационных качеств наружного ограждения, если его конструктивное решение не препятствует выходу пара в наружную атмосферу. При разработке конструкции наружного ограждения проектировщик не должен переоценивать свой опыт работы с уже известными ему строительными материалами и типовыми проектными решениями. Он должен расчетным путем в зависимости от конкретных температурно-влажностных параметров окружающей среды и теплофизических свойств строительных материалов выяснить: появляются ли условия для конденсации влаги в ограждающей конструкции (если да, то в каком месте и в каком количестве она появляется); накапливается ли конденсационная влага в конструкции в течение холодного периода времени и может ли эта влага испариться из конструкции за время теплого периода года. Последнее условие, определяющее возможность прогрессирующего накопления влаги в материале ограждения, является условием пригодности конструкции к эксплуатации.

Материал однослойного однородного ограждения обычно не обладает заметным пароизоляционным эффектом, поскольку коэффициент паропрони-

цаемости такого материала по толщине конструкции практически постоянен. При значительной разности температур наружного и внутреннего воздуха в ограждающей конструкции на некотором расстоянии от наружной поверхности можно найти плоскость с температурой, равной точке росы или ниже.

В многослойных наружных ограждающих конструкциях плоскость возможной конденсации обычно находится под наружным, более плотным слоем. В нерационально запроектированной ограждающей конструкции конденсация водяного пара может происходить на внутренней поверхности, что рассматривается как самый неблагоприятный случай конденсации, который приводит к значительному ухудшению микроклимата помещений и эстетических качеств ограждающей конструкции как элемента интерьера. Основной причиной этого являются недостаточные теплозащитные качества наружного ограждения, снижающие температуру внутренней поверхности. Выпадение конденсата на отдельных участках поверхности обычно свидетельствует о наличии в конструкции «мостиков холода».

Образованию конденсата препятствует устройство плотных, относительно паронепроницаемых слоев с внутренней стороны ограждения, которые могут снизить упругость водяного пара в порах материала настолько, что она станет соответствовать уже такой температуре точки росы, которой в конструкции быть не может, и, следовательно, нет опасности выпадения конденсата.

Таким образом, в многослойных наружных ограждениях конструктивные слои должны чередоваться так, чтобы обеспечивалось снижение паропроницаемости конструкции по направлению от наружной к внутренней поверхности. Если исходя из архитектурных соображений отделка фасада здания должна быть выполнена в виде облицовки из керамической плитки или других плотных отделочных слоев, то для предотвращения образования конденсата под наружным слоем можно выбрать одно из двух проектных решений: на внутренней поверхности предусмотреть слой или покрытие, имеющее меньшую паропроницаемость, чем наружный слой; наружную отделку выполнить на откосе с помощью экрана, под которым предусмотреть воздушную прослойку, вентилируемую наружным воздухом.

В реальных условиях эксплуатации наружные ограждения подвергаются воздействию не только диффундирующего потока водяного пара, но и атмосферной влаги.

3.2. Нормирование и расчет на стадии проектирования теплотехнических показателей ограждающих конструкций

Многообразие воздействующих факторов приводит к сложной картине процессов тепло- и влагопередачи в наружном ограждении. Поэтому при изучении температурно-влажностного режима этих конструкций приняты

определенные допущения, которые упрощают теорию тепло-, влагопередачи, а следовательно, и выполнение теплотехнического расчета.

Предполагается, что процесс теплопередачи внутри конструкции определяется свойствами теплопроводности материала как твердого тела при условии отсутствия переноса тепла за счет взаимного перемещения отдельных частиц тела. Теплопроводность и теплоемкость не зависят от температуры, что допустимо при небольшой разнице температур.

В расчетах теплопередачи при установившихся условиях (стационарном режиме) предполагается, что с течением времени условия на поверхности ограждения и теплосодержание материала не изменяются. Температура наружного и внутреннего воздуха назначается в виде расчетных температур, а температура внутренней поверхности ограждения ограничивается величиной внутреннего температурного перепада.

При тепловых воздействиях на ограждающую конструкцию температуры поверхностей принимаются равными температуре окружающего воздуха. Теплообмен между поверхностью и окружающим воздухом происходит путем конвекции и излучения, что допустимо ввиду небольших разностей температур окружающей среды и поверхности.

В расчетах влагопередачи при стационарном режиме принимаются усредненные значения условий влагообмена на поверхности ограждения и среднее значение константы перемещения влаги за период естественной сушки (не учитывается снижение интенсивности перемещения влаги в материале по мере уменьшения влагосодержания).

В процессе разработки конструктивного решения наружных ограждений изучаются их теплотехнические показатели, которые, как правило, нормируются: сопротивление теплопередаче, тепловая инерция, теплоустойчивость, сопротивление воздухопроницанию, сопротивление паропроницанию.

Сопротивление теплопередаче определяет уровень теплоизоляции наружной ограждающей конструкции и показывает, какое сопротивление оказывает эта конструкция при движении через нее теплового потока из одной среды, более теплой, в другую, более холодную.

Для однородного однослойного ограждения сопротивление теплопередаче R_0 , $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, определяется как сумма термического сопротивления основного слоя конструкции и сопротивлений теплопереходу внутренней и наружной поверхностей конструкции.

Сопротивление теплопередаче многослойной ограждающей конструкции вычисляют как сумму термических сопротивлений отдельных слоев с учетом тех же сопротивлений теплопереходу поверхностей конструкции.

При наличии в конструкции ограждения вентилируемой воздушной прослойки термические сопротивления слоев, расположенных между про-

слоистой и наружной поверхностью, в формуле сопротивления теплопередаче не учитываются.

В нормах теплотехнического проектирования величины теплового потока и сопротивления теплопередаче при стационарных, то есть неизменных условиях передачи тепла, не соответствуют в достаточно точной степени реальным процессам охлаждения ограждающих конструкций, но значительно упрощают при этом теплотехнический расчет. С этой точки зрения выбор расчетной температуры должен быть сделан таким образом, чтобы он приводил к такой же степени охлаждения наружной ограждающей конструкции, как и при реальных (нестационарных) условиях теплопередачи.

Такой выбор расчетной температуры наружного воздуха делается на основе показателя тепловой инерции ограждающей конструкции.

Тепловая инерция является характеристикой затухания колебаний температуры внутри ограждающей конструкции. Для однородного ограждения этот показатель определяется как произведение термического сопротивления на коэффициент теплоусвоения материала, а для многослойного – как сумма этих произведений.

По величине тепловой инерции ограждающей конструкции можно оценить время, необходимое для предельного охлаждения ее внутренней поверхности в случае отключения источника отопления. С ростом тепловой инерции ограждения это время увеличивается. Очень легкие ограждения, например панели типа «сэндвич», при резком похолодании полностью охлаждаются в течение сравнительно короткого периода времени, измеряемого несколькими часами. Однако для массивных ограждений, например бетонных панелей, кирпичной кладки, полное охлаждение наступает в течение нескольких суток. Кратковременное резкое похолодание практически не изменяет температуру внутренней поверхности таких конструкций.

Как было отмечено, на тепловую инерцию многослойной ограждающей конструкции влияет порядок расположения конструктивных слоев из материалов с различными физическими свойствами. Количество тепла, проникающее в конструкцию, у которой теплоизоляционный слой находится со стороны теплового потока, меньше по сравнению с конструкциями, имеющими теплоизоляционный слой посередине или у противоположной поверхности. Это объясняется разными значениями коэффициента теплоусвоения материала на пути проникновения теплового потока.

Поэтому такая ограждающая конструкция обладает и меньшей тепловой инерцией, так как она обеспечивает более быстрое время нагрева помещения за счет того, что само ограждение поглощает всего лишь небольшую часть теплового потока. Такое конструктивное решение используют в наружных ограждениях помещений, которые можно обогревать периодически (кинотеатры, лекционные залы и др.). Однако для большинства дру-

гих зданий расположение теплоизоляционного слоя у внутренней поверхности конструкции нецелесообразно. В условиях периодических изменений величины теплового потока, идущего от системы отопления, и колебаний температуры наружного воздуха ограждающая конструкция должна выполнять регулирующую функцию по выравниванию минимальных и максимальных температур.

Отсюда следует важное функциональное требование к наружным ограждающим конструкциям: при охлаждении помещения они должны обладать способностью отдавать ему тепло, при нагревании воздуха помещения – поглощать излишнее тепло. Наилучшим образом этому требованию соответствует тот вариант конструктивного решения, который предусматривает расположение теплоизоляционного слоя со стороны поверхности, противоположной воздействию теплового потока.

Это же самое требование можно сформулировать так: наружному ограждению необходимо придавать такие качества, чтобы оно могло обеспечивать эффективное затухание амплитуды колебаний температуры, выравнивать ее колебания в воздушной среде помещения, а также задерживать передачу тепла. Эти свойства ограждающей конструкции характеризуют такое явление, как аккумуляция тепла. Количество аккумулярованного тепла в значительной степени зависит от плотности материала конструктивного слоя или однослойного ограждения, а также от величины проходящего теплового потока, которая, в свою очередь, зависит от разности температур.

Для ограждающих конструкций из различных неорганических строительных материалов удельная теплоемкость оказывает при этом незначительное влияние. Для этих материалов (кроме некоторых металлов) удельная теплоемкость принимает всего лишь два значения – 0,84 и 0,88 кДж/(кг·°С). Однако для органических материалов (например, древесина, пенопласт), которые имеют небольшие значения плотности и теплопроводности, этот показатель намного больше (2,3 кДж/(кг·°С)). Вот почему в условиях периодических колебаний температуры воздушной среды тепловой поток, проходящий через ограждающую конструкцию из легкого строительного материала или материала, имеющего сравнительно большую теплоемкость, замедляется и гасится не так сильно, как в конструкциях из строительных материалов повышенной плотности.

В рационально запроектированной многослойной ограждающей конструкции материалы с достаточно высокими теплоизоляционными свойствами должны сочетаться с материалами, обладающими большой теплоаккумулирующей способностью. В такой комбинации, обеспечивающей эффективное затухание амплитуды колебаний температуры, недостатки одного материала перекрываются достоинствами другого. Например, в конструкции бетонной панели с теплоизоляцией из пенопласта или минеральной ва-

ты утеплитель препятствует быстрой потере тепла бетоном, который его аккумулирует при росте величины теплового потока.

Для однослойного ограждения целесообразно использовать строительные материалы, сочетающие в себе одновременно достаточные теплоизоляционные и теплоаккумулирующие качества. Наилучшим сочетанием этих качеств обладает древесина, поэтому ограждения из деревянных конструкций благоприятны для создания комфортного микроклимата в помещениях здания.

Хорошее сочетание теплоизоляционных и теплоаккумулирующих качеств имеют ячеистые и легкие бетоны. Как неорганические строительные материалы, они уступают древесине по величине удельной теплоемкости, что несколько ухудшает сочетание этих качеств.

Ограждающие конструкции, имеющие большую теплоаккумулирующую способность, эффективно применяются при проектировании так называемых энергоэффективных зданий различного назначения. Такие ограждающие конструкции являются неотъемлемым элементом системы по использованию нетрадиционных источников энергии для энергоснабжения здания.

Теплоустойчивость ограждающей конструкции характеризует ее свойство сохранять при колебаниях теплового потока относительное постоянство температуры на внутренней поверхности. Эта температура, как было отмечено, непосредственно связана с внутренним температурным перепадом, имеющим важное санитарно-гигиеническое значение.

Во многих случаях расчет теплоустойчивости ограждающей конструкции не производят, так как здания, как правило, оборудуются постоянно действующей системой отопления, дающей лишь небольшие колебания теплового потока, а иногда и автоматической пофасадной подачей тепла в соответствии с колебаниями температуры наружного воздуха и степенью его инфильтрации в помещение. И только в южных и юго-восточных районах страны наружные ограждающие конструкции, подвергающиеся интенсивной солнечной радиации в дневное время и воздействию охлажденного воздуха в ночное время, испытывают большие суточные колебания теплового потока.

В ограждающих конструкциях, имеющих большую тепловую инерцию, эти колебания теплового потока относительно быстро затухают и не вызывают заметного повышения температуры внутренней поверхности конструкции и внутреннего воздуха помещений. Однако ограждающие конструкции с малой тепловой инерцией могут не обеспечить защиту внутренней воздушной среды от перегрева в этих условиях. Особенно большое значение теплоустойчивость наружных ограждений имеет для зданий жилых, детских и лечебных, а также ряда производственных, в которых по

условиям функционального и технологического процесса должны соблюдаться оптимальные нормы температуры.

Основное нормативное требование по обеспечению теплоустойчивости наружного ограждения заключается в том, что расчетная амплитуда колебаний температуры внутренней поверхности наружного ограждения не должна превышать требуемое значение.

Результаты расчета на теплоустойчивость могут показать, что ограждающая конструкция не отвечает нормативному требованию по теплоустойчивости. В этом случае для повышения теплоустойчивости ограждения можно увеличить показатель тепловой инерции следующим образом:

- выбрать материал слоев ограждения с большим коэффициентом теплоусвоения;
- увеличить толщину ограждающей конструкции;
- назначить в качестве наружного отделочного слоя материал с меньшим коэффициентом поглощения солнечной радиации.

Сопротивление воздухопроницанию для многослойной ограждающей конструкции определяется как сумма сопротивлений воздухопроницанию конструктивных слоев ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{кг}$.

При наличии в ограждении воздушной прослойки, вентилируемой наружным воздухом, сопротивление воздухопроницанию слоев, которые расположены между этой прослойкой и наружной поверхностью, не учитывается.

К проектируемому наружному ограждению предъявляют требование по ограничению количества холодного инфильтрующегося воздуха, вызывающего дополнительные теплотери здания.

Величина воздухопроницаемости нормируется в зависимости от вида ограждающих конструкций и типа здания и принимается равной, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$: для наружных стен и покрытий гражданских зданий – 0,5, а для тех же конструкций производственных зданий – 1, для окон гражданских и промышленных зданий – соответственно 6 и 8. Нормативная величина воздухопроницаемости стыковых соединений панелей наружных стен жилых зданий принимается не более 0,5 $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$.

Сопротивление паропрооницанию оценивает сопротивление, которое оказывает ограждающая конструкция или ее конструктивный слой перемещению диффундирующего потока водяного пара из одной среды с большей его упругостью в другую – с меньшей. Сопротивление паропрооницанию $R_{0,п}$, $\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$, многослойной ограждающей конструкции равно сумме сопротивлений отдельных ее слоев и сопротивлений влагообмену на внутренней $R_{в,п}$ и наружной $R_{н,п}$ поверхностях ограждения.

При выполнении расчетов определяют расчетное $R_{п}$ и требуемые сопротивления паропрооницанию той части ограждающей конструкции, которая расположена между ее внутренней поверхностью и плоскостью воз-

возможной конденсации. В соответствии с закономерностью расположения конструктивных слоев в наружном ограждении именно эта часть конструкции должна оказывать наибольшее сопротивление диффузии водяного пара.

Нормирование паропроницаемости наружных ограждающих конструкций основано на требованиях исключения возможности ежегодного прогрессирующего накопления влаги и ограничения повышения влагосодержания в материале ограждения за холодный период года.

Пароизоляцию располагают в толще конструкции непосредственно у той поверхности утеплителя, которая подвергается воздействию диффундирующего потока водяного пара. Однако для однослойных ограждающих конструкций, совмещающих несущую и теплоизолирующую функции, пароизоляционный слой устраивают на внутренней поверхности ограждения. При этом он должен соответствовать определенным эстетическим требованиям.

Для некоторых конструктивных решений наружных ограждений определять сопротивление паропроницанию не требуется, так как они не нуждаются в пароизоляции. К ним относятся: однородные (однослойные) и двухслойные наружные стены, внутренний слой которых имеет сопротивление паропроницанию более $1,6 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{мг}$; ограждающие конструкции, имеющие сильно проницаемую наружную часть; наружные стены с вентилируемой воздушной прослойкой под наружным защитным слоем или экраном.

При проектировании крыш с вентилируемым чердачным пространством или покрытий с вентилируемой воздушной прослойкой определяют сопротивление паропроницанию нижней части конструкции (чердачного перекрытия или части конструкции, расположенной между внутренней поверхностью покрытия и воздушной прослойкой). Однако, как показывает опыт эксплуатации, данные конструктивные решения верхних ограждений зданий обычно не нуждаются в специальной пароизоляционной защите при эффективном вентилировании воздушных промежутков и нормальном температурно-влажностном режиме внутреннего воздуха помещений.

3.3. Совершенствование методов теплотехнического расчета

Реализация основных задач по экономии тепловой энергии в зданиях может быть эффективно осуществлена на базе надежных и достаточно точных методов теплотехнического расчета при условии обоснованного выбора расчетных параметров и учета особенностей климата в районе строительства. Неправильный выбор расчетной температуры наружного воздуха может привести к ухудшению температурно-влажностного состояния ограждающей конструкции и воздушной среды помещений, дополнительным затратам тепловой энергии на их обогрев. Проектирование наружных ограждающих конструкций для суровых климатических условий без должного учета комплексного воздействия низких температур и

сильного ветра может стать причиной интенсивной инфильтрации холодного воздуха и больших теплопотерь здания.

В настоящее время исследования по строительной теплофизике и методике теплотехнического расчета развиваются в следующих направлениях:

1. Энергетические основы теплового, воздушного и влажностного режима здания как единой системы.
2. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче многокомпонентных ограждающих конструкций.
3. Расчет и нормирование энергетических характеристик здания.
4. Выбор области рационального применения разнообразных ограждающих конструкций.

Результаты этих исследований поэтапно, начиная с 70-х годов прошлого столетия, входили в редакции норм по строительной теплотехнике. В ходе работы по совершенствованию нормативных документов, регламентирующих теплотехническое проектирование зданий, в их структуру включались следующие разделы:

1. Минимальные нормативные теплотехнические требования по разделам норм (сопротивления теплопередаче, воздухопроницанию, паропроницанию, теплоустойчивость и др.), несоблюдение которых совершенно не допускается. При этом повышенные нормативные требования к теплозащите зданий, позволяющие получать экономию тепловой энергии, поощряются на региональном и правительственном уровнях.

2. Теплофизические основы строительной физики зданий, включающие численные методы решения задач, сведения об инженерных решениях и др. Этот раздел обеспечивает проектировщиков и строителей справочным материалом для профессионального использования и в то же время необходимыми сведениями для принятия оптимальных инженерных решений.

3. Рекомендуемые и альтернативные методы расчета, изложенные в форме справочного пособия или руководства и позволяющие разработать проект здания, который удовлетворяет нормативным теплотехническим требованиям.

4. Прочие методы расчета с компьютеризованными программами (инструкции, руководства по использованию программ, методики и др.), которые обеспечивают получение величин, подлежащих проверке в соответствии с нормативными требованиями.

В настоящее время основным документом при проектировании тепловой защиты строящихся или реконструируемых жилых, общественных, производственных, сельскохозяйственных и складских зданий общей площадью более 50 м² является СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» [52], утверждённый приказом Министерства регионального развития РФ от 30 июня 2012 г. №265 и вступивший в силу 1 июля 2013 года. Данный документ, заменивший

СНиП 23-02–2003 «Тепловая защита зданий» [53] имеет ряд принципиальных отличий от предыдущей редакции:

- оценка эффективности производится по совершенно новому показателю – удельной теплозащитной характеристике здания $k_{об}$, измеряемой в Вт/(м³·°С), тогда как в [53] основным показателем был удельный расход тепловой энергии на отопление здания q_h^{des} , измеряемый в кДж/(м²·°С·сут) или кДж/(м³·°С·сут);
- внесены изменения в порядок расчёта удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление здания, в частности более полно учитывается расход тепловой энергии на вентиляцию;
- введены «региональные» понижающие коэффициенты к термическому сопротивлению ограждающих конструкций;
- количество классов энергоэффективности увеличилось до 10;
- расчёт приведённого сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или любой выделенной ограждающей конструкции основан на представлении фрагмента в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент; удельные потери теплоты, обусловленные каждым элементом, находятся на основе сравнения потока теплоты через узел, содержащий элемент, и через тот же узел, но без исследуемого элемента.

Значение удельной теплозащитной характеристики здания $k_{об}$, Вт/(м³·°С), рассчитывается в соответствии с приложением Ж [52]:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \cdot \sum_i \left(n_{t,i} \cdot \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{пр}} \right) = K_{комп} \cdot K_{общ}, \quad (3.1)$$

где $R_{o,i}^{пр}$ – приведённое сопротивление теплопередаче i -го фрагмента теплозащитной оболочки здания, м²·°С/Вт;

$A_{\phi,i}$ – площадь соответствующего фрагмента теплозащитной оболочки здания, м²;

$V_{от}$ – отапливаемый объём здания, м³;

$n_{t,i}$ – коэффициент, учитывающий отличие внутренней или наружной температуры у конструкции от принятых в расчёте ГСОП;

$K_{общ}$ – общий коэффициент теплопередачи здания, Вт/(м²·°С), определяемый по формуле

$$K_{общ} = \frac{1}{A_{н}^{сум}} \cdot \sum_i \left(n_{t,i} \cdot \frac{A_{\phi,i}}{R_{o,i}^{пр}} \right), \quad (3.2)$$

$K_{комп}$ – коэффициент компактности здания, м⁻¹

$$K_{комп} = \frac{A_{н}^{сум}}{V_{от}}; \quad (3.3)$$

здесь $A_{н}^{сум}$ – сумма площадей по внутреннему обмеру всех наружных ограждений теплозащитной оболочки здания, м².

В соответствии с тем же приложением рассматриваемый показатель может быть найден непосредственно через характеристики элементов, составляющих все конструкции оболочки здания:

$$k_{об} = \frac{1}{V_{от}} \cdot \left[\sum \left(n_{t,i} \cdot \frac{A_{ф,i}}{R_{о,i}^{усл}} \right) + \sum n_{t,j} \cdot L_j \cdot \psi_j + \sum n_{t,k} \cdot N_k \cdot \chi_k \right], \quad (3.4)$$

где $R_{о,i}^{усл}$, ψ_j , χ_k – принимаются по соответствующему приложению свода правил; L_j – суммарная протяжённость линейной неоднородности j -го вида по всей оболочке здания, м; N_k – суммарное количество точечных неоднородностей k -го вида по всей оболочке здания, шт.

Нормируемое значение удельной теплозащитной характеристики здания $k_{об}$, Вт/(м³·°С), следует принимать в зависимости от отапливаемого объёма здания и градусо-суток отопительного периода (ГСОП) района строительства по табл. 3.1. При проектировании тепловой защиты здания следует задаваться условием, что удельная теплозащитная характеристика здания $k_{об}$ должна быть не больше нормируемого значения $k_{об}^{тр}$. Данное требование является комплексным.

Т а б л и ц а 3 . 1

Нормируемые значения удельной теплозащитной характеристики здания

Отапливаемый объём здания, $V_{от}, \text{м}^3$	Значения $k_{об}^{тр}$, Вт/(м ³ ·°С), при значениях ГСОП, °С·сут/год				
	1000	3000	5000	8000	12000
150	1,206	0,892	0,708	0,541	0,321
300	0,957	0,708	0,562	0,429	0,326
600	0,759	0,562	0,446	0,341	0,259
1200	0,606	0,449	0,356	0,272	0,207
2500	0,486	0,360	0,286	0,218	0,166
6000	0,391	0,289	0,229	0,175	0,133
15000	0,327	0,242	0,192	0,146	0,111
50000	0,277	0,205	0,162	0,124	0,094
200000	0,269	0,182	0,145	0,111	0,084

Следует отметить, что для промежуточных значений величин $V_{от}$ и ГСОП, а также для зданий с отапливаемым объёмом более 200 000 м³ значение $k_{об}^{тр}$ рассчитывается по формулам:

✓ для $V_{от} \leq 960 \text{ м}^3$

$$k_{об}^{тр} = \frac{4,74}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} \cdot \frac{1}{\sqrt[3]{V_{от}}}; \quad (3.5)$$

✓ для $V_{от} > 960 \text{ м}^3$

$$k_{об}^{тр} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{от}}}}{0,00013 \cdot \text{ГСОП} + 0,61} \quad (3.6)$$

или по следующей формуле

$$k_{об}^{тр} = \frac{8,5}{\sqrt{ГСОП}}. \quad (3.7)$$

В актуализированной версии предложен другой порядок определения расхода тепловой энергии $q_{от}^p$, Вт/(м³·°С), на отопление и вентиляцию здания:

$$q_{от}^p = [k_{об} + k_{вент} - (k_{быт} + k_{рад})\nu\zeta] \cdot (1 - \xi)\beta_h, \quad (3.8)$$

где $k_{об}$ – удельная теплозащитная характеристика здания, Вт/(м³·°С), (см. формулу (3.1));

$k_{вент}$ – удельная вентиляционная характеристика здания, Вт/(м³·°С);

$k_{быт}$ – удельная характеристика бытовых тепловыделений здания, Вт/(м³·°С);

$k_{рад}$ – удельная характеристика тепlopоступлений в здание от солнечной радиации, Вт/(м³·°С);

ξ – коэффициент, учитывающий снижение тепlopотребления жилых зданий при наличии поквартирного учёта тепловой энергии на отопление, принимается до получения статистических данных фактического снижения $\xi = 0,1$;

β_h – коэффициент, учитывающий дополнительное тепlopотребление системы отопления;

ν – коэффициент снижения тепlopоступлений за счёт тепловой инерции ограждающих конструкций; рекомендуемые значения вычисляются по формуле

$$\nu = 0,7 + 0,000025(ГСОП - 1000); \quad (3.9)$$

ζ – коэффициент эффективности авторегулирования подачи теплоты в системах отопления.

Удельная вентиляционная характеристика здания $k_{вент}$, Вт/(м³·°С), определяется по формуле

$$k_{вент} = 0,28cn\beta_v\rho_v^{вент}(1 - k_{эф}), \quad (3.10)$$

где c – удельная теплоёмкость воздуха, равная 1 кДж/(кг·°С);

β_v – коэффициент снижения объёма воздуха в здании, учитывающий наличие внутренних ограждающих конструкций (при отсутствии данных принимается $\beta_v = 0,85$);

$\rho_v^{вент}$ – средняя плотность приточного воздуха за отопительный период, кг/м³;

n_v – средняя кратность воздухообмена здания за отопительный период, ч⁻¹;

$k_{эф}$ – коэффициент эффективности рекуператора.

При расчете региональных понижающих коэффициентов к термическому сопротивлению ограждающих конструкций нормируемое значение приведённого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $R_0^{\text{норм}}$, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, следует определять по формуле (согласно пункту 5.2 нового свода правил):

$$R_0^{\text{норм}} = R_0^{\text{тп}} \cdot m_p, \quad (3.11)$$

где $R_0^{\text{тп}}$ – базовое значение требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $(\text{м}^2 \cdot \text{°C}) / \text{Вт}$, которое принимается в зависимости от ГСОП, $\text{°C} \cdot \text{сут} / \text{год}$, и региона строительства;

m_p – коэффициент, учитывающий особенности региона строительства. При этом значения коэффициента m_p должны быть не менее:

- ✓ для стен $m_p = 0,63$;
- ✓ для светопрозрачных конструкций $m_p = 0,95$;
- ✓ для остальных ограждающих конструкций $m_p = 0,8$.

В [53] показатель энергетической эффективности зданий варьировался от А («очень высокий») до Е («очень низкий»). В новом СП количество классов расширилось до 10 с более узкой областью величины отклонения для каждого из классов. В табл. 3.2 представлены вновь введенные классы энергетической эффективности.

Т а б л и ц а 3.2

Классы энергосбережения жилых и общественных зданий

Обозначение класса	Наименование класса	Величина отклонения расчётного (фактического) значения удельной характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания от нормируемого, %
A++	Очень высокий	Ниже – 60
A+		От –50 до –60 включительно
A		От –40 до –50 включительно
B+	Высокий	От –30 до –40 включительно
B		От –15 до –30 включительно
C+	Нормальный	От –5 до –15 включительно
C		От +5 до –5 включительно
C-		От +15 до +5 включительно
D	Пониженный	От +15,1 до +50 включительно
E	Низкий	Более +50

П р и м е ч а н и е . Для классов D и E рекомендуется выполнить реконструкцию здания при соответствующем экономическом обосновании или его снос для класса E.

Нововведением в СП 50.13330.2012 является расчёт приведённого сопротивления теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания или любой выделенной ограждающей конструкции, основанный на представ-

лении фрагмента в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент. В соответствии с приложением Е приведённое сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания $R_o^{пр}$, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$, следует определять по формуле

$$R_o^{пр} = \frac{1}{\frac{1}{R_o^{усл}} + \sum l_j \cdot \psi_j + \sum n_k \cdot \chi_k} = \frac{1}{\sum a_i \cdot U_i + \sum l_j \cdot \psi_j + \sum n_k \cdot \chi_k}, \quad (3.12)$$

где $R_o^{усл}$ – осреднённое по площади условное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания либо выделенной ограждающей конструкции, $м^2 \cdot ^\circ C / Вт$;

l_j – протяжённость линейной неоднородности j -го вида, приходящаяся на $1 м^2$ фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, $м / м^2$;

ψ_j – удельные потери теплоты через линейную неоднородность j -го вида, $Вт / (м \cdot ^\circ C)$;

n_k – количество точечных неоднородностей k -го вида, приходящихся на $1 м^2$ фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, $шт. / м^2$;

χ_k – удельные потери теплоты через точечную неоднородность k -го вида, $Вт / ^\circ C$;

a_i – площадь плоского элемента конструкции i -го вида, приходящаяся на $1 м^2$ фрагмента теплозащитной оболочки здания или выделенной ограждающей конструкции, $м^2 / м^2$,

$$a_i = \frac{A_i}{\sum A_i} \quad (3.13)$$

(A_i – площадь i -й части фрагмента, $м^2$);

U_i – коэффициент теплопередачи однородной i -й части фрагмента теплозащитной оболочки здания (удельные потери теплоты через плоский элемент i -го вида), $Вт / (м^2 \cdot ^\circ C)$,

$$U_i = \frac{1}{R_{o,i}^{усл}} \quad (3.14)$$

Специалистами был высказан ряд замечаний к СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003».

21 июня 2013 года в Государственной Думе Федерального Собрания Российской Федерации состоялось заседание Экспертного совета. Тема заседания – «Соблюдение требований энергоэффективности в гражданском строительстве при вступлении в силу СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита

зданий. Актуализированная версия». В заседании приняли участие депутаты Государственной Думы Российской Федерации, представители Минрегионразвития РФ, НИИСФ РАН, НОССТРОЙ, отраслевых объединений рынка теплоизоляционных материалов [54]. В целом, участники заседания отметили, что представленная редакция СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (Актуализированная редакция СНиП 23-02–2012) содержит ряд необоснованных положений, не создает условий для снижения тепловой энергии в проектируемых зданиях, не повышает требования к уровню энергоэффективности зданий по сравнению с требованиями стандарта по тепловой защите 2003 года (СНиП 23-02–2003), не соответствует требованиям, изложенным в Федеральном Законе от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...» и Указе Президента Российской Федерации от 04 июня 2008 г. № 889, не учитывает современные тенденции мирового тренда на энергосбережение.

Основные замечания к новому Своду Правил заключались в следующем:

1. В таблицах 13 и 14 СП 50.13330.2012 установлены нормативные (базовые) значения удельного расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию зданий, однако не выполнены требования п. 15 Постановления Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. № 18, согласно которому: «После установления базового уровня требований энергетической эффективности зданий, строений, сооружений требования энергетической эффективности должны предусматривать уменьшение показателей, характеризующих годовую удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении, не реже 1 раза в 5 лет: с января 2011 г. (на период 2011–2015 годов) – не менее чем на 15 процентов по отношению к базовому уровню, с 1 января 2016 г. (на период 2016–2020 годов) – не менее чем на 30 процентов по отношению к базовому уровню и с 1 января 2020 г. – не менее чем на 40 процентов по отношению к базовому уровню.

2. В СП 50.13330.2012 не созданы условия для поэтапного уменьшения уровня потребления зданиями тепловой энергии на отопление и вентиляцию (правило 15+15+10) согласно требованиям п. 15 Постановления Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. № 18, выполнение которых можно обеспечить за счет:

– поэтапного повышения требования к уровню тепловой защиты (теплоизоляции) наружных ограждающих конструкций;

– использования механических систем вентиляции с рекуперацией тепла вытяжного воздуха;

– интеграции в энергетический баланс зданий вторичных энергетических ресурсов и нетрадиционных источников энергии (согласно требова-

ниям п. 16 Постановления Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. № 18).

3. В СП 50.13330.2012 не отражены требования п. 16 Постановления Правительства Российской Федерации от 25 января 2011 г. № 18 о включении с 1 января 2013 г. нормируемого удельного суммарного расхода первичной энергии в нормируемые показатели, характеризующие годовую удельную величину расхода энергетических ресурсов в здании, строении, сооружении.

4. Таблица 15 СП 50.13330.2012 с классами энергосбережения жилых и общественных зданий не соответствует классификации, принятой для многоквартирных домов в Приказе Министерства регионального развития Российской Федерации от 8 апреля 2011 г. № 161.

5. Форма для заполнения энергетического паспорта здания, представленная в Приложении Д СП 50.13330.2012, не соответствует форме энергетического паспорта, составленного на основании проектной документации по Приложению №24 из Приказа Министерства энергетики Российской Федерации от 19 апреля 2010 г. №182 «Об утверждении требований к энергетическому паспорту, составленному по результатам обязательного энергетического обследования, и энергетическому паспорту, составленному на основании проектной документации, и правил направления копии энергетического паспорта, составленного по результатам обязательного энергетического обследования». Наличие двух форм энергетического паспорта, существенно отличающихся друг от друга, порождает дополнительные сложности при заполнении раздела «Энергетическая эффективность» проектируемого объекта. Форма энергетического паспорта по Приложению Д СП50.13330.2012 требует заполнения теплотехнических и геометрических показателей, относящихся только к расчету затрат тепловой энергии на отопление здания в течение отопительного периода. Форма энергетического паспорта по Приказу Минэнерго №182 содержит полный перечень характеристик, относящихся к затратам всех видов энергетических ресурсов (тепловой энергии на отопление, вентиляцию, горячее водоснабжение, электрической энергии, природного газа), при этом рассматривает не только показатели эксплуатационной энергоемкости зданий, но и потребляемой мощности систем инженерного обеспечения, т.е. предусматривает комплексный подход к вопросам энергопотребления, что более целенаправленно отражает концепцию, изложенную в Федеральном Законе от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

6. СП 50.13330.2012 не гармонизирован с иностранными нормативными документами, регламентирующими требования к уровню теплоизоляции наружных ограждающих конструкций, методиками расчета потреб-

ляемой в зданиях тепловой энергии на отопление и вентиляцию, классификацией зданий по энергетической эффективности. В СП 50.13330.2012 приведена таблица с классификацией жилых и общественных зданий по энергетической эффективности (энергосбережению), но отсутствуют требования и правила сертификации зданий по энергетической эффективности.

В [55] указывается, что произведенные по формуле (12) расчеты приводят к снижению уровня теплозащиты наружных ограждений на 35-45 % за счет теплотехнических неоднородностей, не учитываемых при расчёте по предыдущему нормативу.

Новая версия СНиП подразумевает уменьшение толщины стен на 37 %. Следовательно, энергопотребление в зданиях, построенных в соответствии с данными правилами, может быть больше, чем в построенных по действующим нормам. Подобные инициативы во многом расходятся с энергетической стратегией России на период до 2020 года, основная задача которой снизить внутреннее энергопотребление страны на 40 % [56].

Своё мнение выразил *В.И. Ливчак, вице-президент НП «АВОК», г. Москва*: «Повышение энергопотребления означает, что для жителей многоквартирных домов, построенных в соответствии с новым стандартом, возрастет плата за потребляемые услуги ориентировочно до 70 %, а это значительный удар по бюджету населения. Принятие СП 50.13330 в существующей версии без поправок означает, что Россия делает шаг назад в области снижения энергопотребления» [56].

В [57] представлен анализ нового нормативного документа:

- в СП 50-13330–2012 совершенно проигнорированы требования Постановления Правительства РФ № 18 о повышении энергоэффективности зданий по сравнению с базовым, нормируемым в 2003–2010 гг. уровнем, на 15 % с 2011 г., еще на столько же с 2016 г. и всего на 40 % с 2020 г. В СП 50-13330–2012 требований повышения энергетической эффективности нет! Вопреки приказу Минрегионразвития РФ от 8 апреля 2011 г. № 161 включен подкласс энергоэффективности «-С», после чего к нормальному классу будут относиться дома с удельным расходом тепловой энергии на отопление, до 15 % превышающим нормируемый на базовом уровне показатель;

- отнесение расчетного теплопотребления к отапливаемому объему здания равнозначно отнесению к площади отапливаемых этажей, которая получается делением отапливаемого объема на высоту типового этажа от пола до пола. Но площадь отапливаемых этажей измеряется в пределах внутренних поверхностей наружных ограждений и включает, помимо площади квартир, и площадь лестнично-лифтовых узлов, внутренних стен, что вместе на 36–67 % больше площади квартир. Соответственно, при делении на большую площадь получится настолько же ниже удельная вели-

чина теплотребления. Поэтому актуализированная редакция СНиП позволяет, не выполняя никаких энергосберегающих решений, пересчитать расчетное теплотребление на единицу объема здания и получить на бумаге повышение энергоэффективности, как минимум, на 35 %, а на практике – в 1,5 раза увеличение фактически израсходованной энергии на отопление.

В [57] также представлены результаты расчёта и сравнения теплотехнических показателей по СП 50-13330–2012 и по СНиП 23-02–2003, из которого следует, что актуализированный в 2012 г. СНиП рекомендует увеличение потребления тепловой энергии на отопление на 21 % по сравнению с действующим до него СНиПом 2003 г, что противоречит принципу ресурсосбережения.

4. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА

4.1. Исследование закономерностей возникновения и способов интенсификации экономайзерного эффекта в наружной стене

В этом разделе монографии на основании физико-математической модели экономайзерного эффекта в наружной стене дана приближенная оценка экономии тепловой энергии в помещении за счет уменьшения объема холодного приточного воздуха и количества тепла на его подогрев [58].

Значимость любого исследования по созданию экологически чистых и эффективных по теплотехническим свойствам строительных материалов в немалой мере зависит от соответствия его результатов концептуальным основам создания «здорового» и энергоэффективного здания («healthy» and energy efficiency building). В последние годы ученым-материаловедам удалось значительно понизить плотность некоторых экологически чистых неорганических материалов (пенокерамобетоны, газо- и пенобетоны и др.), что позволило отнести их к классу энергоэффективных материалов.

При инфильтрации наружного воздуха с поверхности однородных ограждений из этих материалов в воздушную среду помещений не выделяются вредные для здоровья продукты распада полимерных материалов в отличие от слоистых конструкций с использованием вспученных пластмасс. Такие наружные ограждения с упорядоченной капиллярно-пористой структурой представляют собой, по сути, «дышащие» конструкции, способствующие улучшению микроклимата помещений. К тому же они обладают способностью к самоочищению путем выноса агрессивных веществ в диффундирующем потоке водяного пара к наружной поверхности и затем в атмосферу.

Молярный перенос воздуха через толщу наружного ограждения к внутренней поверхности имеет все признаки гидродинамического потока в пористых средах. Он возникает при давлении наружного воздуха, превышающем давление внутреннего.

$$\Delta P = P_{\text{н}} - P_{\text{в}}.$$

При этом процесс инфильтрации воздуха усиливается с наветренной стороны здания, а также в нижних этажах из-за гравитационного давления за счет разности температур по высоте здания. В процессе противоточного движения теплового потока из отапливаемого помещения в пористой

структуре ограждающей конструкции возникает экономайзерный эффект, при котором часть трансмиссионного тепла помещения передается встречному воздушному потоку. Оценка точной величины этого эффекта представляется сложной математической задачей, связанной с решением полной системы дифференциальных уравнений тепломассопереноса и определением потенциалов переноса тепла и массы.

Ниже рассмотрена упрощенная модель экономайзерного эффекта в процессе инфильтрации воздуха через пористое ограждение, позволяющая дать приближенную оценку эффекту энергосбережения в холодный период года. При этом были приняты следующие допущения.

1. Температура во всех сечениях ограждения практически равна температуре воздуха из-за очень медленного его движения через капиллярно-пористую структуру материала (в пределах 1,5...2,6 мм/с на каждый 1 м³ расхода воздуха через 1 м² конструкции в час).

2. В материале наружного ограждения содержится небольшое количество влаги в жидкой фазе, которое недостаточно для закупорки его пор и капилляр и не влияет на его воздухопроницаемость при малой разности давлений воздуха по обе стороны конструкции.

3. Содержание жидкости в порах материала велико по сравнению с содержанием пара, и поэтому влияние конденсации водяного пара на тепломассоперенос в процессе инфильтрации воздуха оказывается чрезвычайно малым.

Известно, что дифференциальное уравнение переноса тепла для одномерной задачи в отсутствие источников и стоков в стационарном состоянии при движении фильтрационного потока влажного воздуха имеет вид:

$$\frac{d^2 t}{dx^2} - w \cdot c_B \cdot \frac{dt}{dx} = 0, \quad (4.1)$$

где $t = A_1 \cdot \exp \cdot (c_B \cdot w/\lambda) \cdot x + A_2$.

Постоянные A_1 и A_2 находят из граничных условий:

$$t = t_H \text{ при } R = 0 \text{ и } t = t_B \text{ при } R = R_0,$$

где R_0 и R – соответственно общее сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции и то же сопротивление без учета сопротивления внутренней поверхности ограждения, м²·°C/Вт.

После преобразований формулы (4.1) и с учетом граничных условий определяют температуру τ_B и тепловой поток q_B на внутренней поверхности ограждения при инфильтрации:

$$\tau_B = t_H + (t_B - t_H) \cdot \frac{e^{c_B \cdot w \cdot R} - 1}{e^{c_B \cdot w \cdot R_0} - 1}, \quad (4.2)$$

$$q_u = \frac{c_B \cdot w \cdot e^{c_B \cdot w \cdot R}}{e^{c_B \cdot w \cdot R_0} - 1} \cdot (t_B - t_H). \quad (4.3)$$

Тепловой поток q_u , входящий из помещения в ограждение, является расчетным при определении теплопотерь.

В формулах (4.2) и (4.3) t_H и t_B – наружная и внутренняя температура воздуха; c_B – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·°С) w – расход воздуха, кг/(м²·ч). Приближенное значение разницы давлений воздуха по обе стороны ограждения с наветренной стороны ниже нейтральной зоны здания определили по следующей формуле

$$\Delta P = -0,8 \cdot \left[-g \cdot (\gamma_H - \gamma_B) \cdot H - 0,6 \frac{(0,6 \cdot v)^2 \cdot \gamma_H}{2} \right], \quad (4.4)$$

где H – расстояние по высоте от середины этажа до нейтральной зоны, м;
 v – расчетная скорость ветра, м/с.

В процессе вентиляции помещения на подогрев наружного холодного воздуха, компенсирующего расчетный расход воздуха $W_{\text{вент}}$, м³/ч, который удаляется из помещения вытяжной вентиляцией, затрачивается количество тепла, равное:

$$Q_{\text{вент}} = 0,28 \cdot w_{\text{вент}} \cdot \gamma_H \cdot c_B \cdot (t_B - t_H), \quad (4.5)$$

где для жилых зданий удельный расход воздуха нормируется в объеме 3 м³/ч на 1 м² площади помещения и кухни.

Подогретый при инфильтрации в результате экономайзерного эффекта воздух в количестве $w_{\text{вент}}$, кг/(м²·ч), уменьшает как необходимое количество наружного воздуха в системе вентиляции здания на величину $\Delta w_{\text{вент}}$, кг/(м²·ч), так и количество тепла на его подогрев:

$$\Delta Q_{\text{вент}} = 0,28 \cdot \Delta w_{\text{вент}} \cdot \gamma_H \cdot c_B \cdot (t_B - t_H). \quad (4.6)$$

Количество инфильтрующегося воздуха $w_{\text{инф}}$, кг/(м²·ч), равно:

$$w_{\text{инф}} = \Delta P / \sum R_n, \quad (4.7)$$

где ΔP – разность давлений воздуха с внешней и внутренней стороны ограждения, Па;

$\sum R_n$ – сумма сопротивлений воздухопроницанию всех слоев ограждения, м²·ч·Па / кг.

Поступающий с внутренней поверхности ограждения воздух будет иметь температуру, которая намного выше температуры холодного приточного воздуха в системе естественной вентиляции, но ниже температуры внутреннего воздуха:

$$t_H < \tau_{\text{инф}} < t_B.$$

Можно полагать, что при большом количестве инфильтрующегося воздуха через пористую структуру наружного ограждения минимизируются тепло- вые потери помещения, так как уходящий тепловой поток через эту конструкцию в основном используется на нагрев наружного холодного воздуха. Учет такого эффекта «проветривания» через пористую структуру наружного ограждения позволяет экономить тепловую энергию в процессе вентиляции помещений наружным воздухом, который или забирает тепло внутренней воздушной среды, или может предварительно подогреваться в случае механической приточной системы.

Оценку экономайзерного эффекта проводили на примере помещения площадью 12 м^2 , расположенного на первых этажах 2- и 12-этажных жилых домов, построенных по старым (до 1995 г.) нормам тепловой защиты зданий. Высота этажа 3 м, температура внутреннего и наружного воздуха соответственно $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и $-29 \text{ }^\circ\text{C}$, скорость ветра $5,6 \text{ м/с}$. Конструкция наружной стены площадью $S_{\text{ст}} = 8,8 \text{ м}^2$ изготовлена из крупнопористого керамзитобетона плотностью 900 кг/м^3 с внутренним отделочным слоем из листов сухой штукатурки, установленных с заделкой швов.

Сопrotивление воздухопроницанию ограждения:

$$\sum R_{\text{и}} = R_{\text{к}} + R_{\text{ш}} = 15 + 20 = 35 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па/кг}.$$

Общее сопротивление теплопередаче:

$$R_0 = 1/8,7 + 0,4/0,28 + 0,015/0,6 + 1/23 = 1,6 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт}.$$

Сопrotивление теплопередаче ограждения на границе у внутренней поверхности:

$$R = R_0 - 1/8,7 = 1,485 \text{ м}^2 \cdot \text{ }^\circ\text{C/Вт}.$$

Разность давлений воздуха с наветренной стороны:

✓ 2-этажный дом

$$\Delta P = -0,8 \{ [-9,81(1,42 - 1,2)(0,7 \cdot 3 \cdot 2 - 1,5) - 0,6[(0,6 \cdot 5,6)^2 \cdot 1,42/2]] \} = 8,51 \text{ Па},$$

✓ 12-этажный дом

$$\Delta P = -0,8 \{ [-9,81(1,42 - 1,2)(0,7 \cdot 3 \cdot 12 - 1,5) - 4,81] \} = 44,77 \text{ Па}.$$

Количество инфильтрующегося воздуха:

✓ 2-этажный дом

$$w_{\text{инф}} = 8,51/35 = 0,243 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

или $0,243 \cdot 8,8 = 2,14 \text{ кг/ч} = 2,14/1,42 = 1,51 \text{ м}^3/\text{ч},$

✓ 12-этажный дом

$$w_{\text{инф}} = 44,77/35 = 1,28 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$$

или $1,28 \cdot 8,8 = 12,56 \text{ кг/ч} = 12,56/1,42 = 7,93 \text{ м}^3/\text{ч}.$

Температура внутренней поверхности ограждения:

✓ 2-этажный дом

$$\begin{aligned}\tau_b &= -29 + 49(e^{0,28 \cdot 0,243 \cdot 1,485} - 1) / (e^{0,28 \cdot 0,243 \cdot 1,6} - 1) = \\ &= -29 + 49 \cdot 0,92 = 16,16 \text{ }^\circ\text{C},\end{aligned}$$

✓ 12-этажный дом

$$\tau_b = -29 + 49(e^{0,28 \cdot 1,9 \cdot 1,485} - 1) / (e^{0,28 \cdot 1,9 \cdot 1,6} - 1) = 15,51 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Величина теплового потока на внутренней поверхности наружного ограждения при инфильтрации:

✓ 2-этажный дом

$$q_{\text{инф}} = [0,28 \cdot 0,243 \cdot e^{0,28 \cdot 0,243 \cdot 1,485} / (e^{0,28 \cdot 0,243 \cdot 1,485} - 1)] \cdot 49 = 31,03 \text{ Вт/м}^2,$$

✓ 12-этажный дом

$$q_{\text{инф}} = [0,28 \cdot 1,28 \cdot e^{0,28 \cdot 1,28 \cdot 1,485} / (e^{0,28 \cdot 1,28 \cdot 1,6} - 1)] \cdot 49 = 38,64 \text{ Вт/м}^2.$$

Та же величина при отсутствии инфильтрации:

$$q = (t_b - t_n) / R_o = 49 / 1,6 = 30,63 \text{ Вт/м}^2.$$

Дополнительные теплопотери при наличии инфильтрации равны:

$$q_{\text{доп}} = q_{\text{инф}} - q;$$

✓ 2-этажный дом

$$q_{\text{доп}} = 31,03 - 30,63 = 0,4 \text{ Вт/м}^2,$$

✓ 12-этажный дом

$$q_{\text{доп}} = 38,64 - 30,63 = 8,01 \text{ Вт/м}^2.$$

Расход тепла на подогрев необходимого количества вентиляционного воздуха:

$$Q_{\text{вен}} = 0,28 \cdot 3 \cdot 12 \cdot 1,42 \cdot 49 = 701,37 \text{ Вт}.$$

Поступивший при инфильтрации через всю поверхность наружной стены объем воздуха уменьшает потребность помещения в вентиляционном воздухе на величину $\Delta w_{\text{вен}} = w_{\text{вен}} - w_{\text{инф}}$.

На подогрев поступившего при инфильтрации объема воздуха от температуры $t_n = -29 \text{ }^\circ\text{C}$ до температуры $t_b = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ потребовалось бы следующее количество тепла, которое представляет собой величину сэкономленного тепла с учетом ряда поправок:

✓ 2-этажный дом

$$Q_w_{\text{инф}} = 0,28 \cdot 1,51 \cdot 1,42 (20 + 29) = 29,36 \text{ Вт},$$

✓ 12-этажный дом

$$Q_{w \text{ инф}} = 0,28 \cdot 7,93 \cdot 1,42(20 + 29) = 154,50 \text{ Вт.}$$

Первую поправку введем как часть трансмиссионного тепла, затрачиваемого на обогрев инфильтрующегося воздуха в поровом пространстве конструкции:

$$Q_{w \text{ инф}}^{1п} = q_{\text{доп}} \cdot S_{\text{ст}};$$

✓ 2-этажный дом

$$Q_{w \text{ инф}}^{1п} = 0,40 \cdot 8,8 = 3,52 \text{ Вт,}$$

✓ 12-этажный дом

$$Q_{w \text{ инф}}^{1п} = 8,01 \cdot 8,8 = 70,40 \text{ Вт.}$$

Вторую поправку введем на дополнительное тепло, которое потребуется на подогрев инфильтрационного объема воздуха (имеющего температуру, равную температуре внутренней поверхности) до температуры воздуха помещения $t_{в}$:

✓ 2-этажный дом

$$Q_{w \text{ инф}}^{2п} = 0,28 \cdot 1,51 \cdot 1,22 (20 - 16,16) = 1,98 \text{ Вт,}$$

✓ 12-этажный дом

$$Q_{w \text{ инф}}^{2п} = 0,28 \cdot 7,93 \cdot 1,22 (20 - 15,51) = 12,16 \text{ Вт.}$$

где 1,22 – плотность воздуха при температурах внутренней поверхности

$$\tau_{в} = 16,16 \text{ °C и } 15,51 \text{ °C.}$$

Тогда с учетом двух поправок расход тепла на нагревание необходимого объема воздуха в данном помещении составит:

✓ 2-этажный дом

$$Q_0 = 701,37 - 29,36 + 3,52 + 1,98 = 677,51 \text{ Вт,}$$

✓ 12-этажный дом

$$Q_0 = 701,37 - 154,50 + 70,40 + 12,16 = 629,43 \text{ Вт.}$$

Приближенный эффект экономии тепла при инфильтрации воздуха через данное ограждение будет равен:

✓ 2-этажный дом

$$(701,37 - 677,51) \cdot 100 / 701,37 = 3,40 \%,$$

✓ 12-этажный дом

$$(701,37 - 629,43) \cdot 100 / 701,37 = 10,26 \%.$$

Как видим, экономайзерный эффект повышается с увеличением высоты здания, а также с уменьшением сопротивления воздухопроницанию $R_{и}$

ограждения. Однако при большой величине R_n ($490 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па} / \text{кг}$) для конструкции наружной стены из керамзитобетона плотностью $1100 \text{ кг} / \text{м}^3$ этот эффект практически неощутим (около 1 %) даже в 12-этажном доме.

Результаты аналогичных расчётов, выполненных для конструкций наружных стен из шлакопемзобетона и кирпичной кладки на цементно-шлаковом растворе с тем же внутренним отделочным слоем, показали, что данный эффект может составить 18 % и 13 % соответственно.

4.2. Наружная ограждающая конструкция, утилизирующая тепло уходящего из помещения воздуха

Рассмотрен вариант подогрева приточного воздуха в наружной стене, имеющей вентилируемую прослойку в своей конструкции. Представленная расчетная модель основана на утилизации части теплового потока, проходящего через наружное ограждение. Предложенный способ дает возможность повысить температуру приточного воздуха и, таким образом, обеспечить энергосберегающий эффект.

При проектировании и строительстве зданий используются различные способы энергосбережения, такие, как применение эффективных теплоизоляционных материалов, рекуператоров тепла, гелиоустановок и т.д. Подобные мероприятия, как правило, отличаются высокой стоимостью. Поэтому поиски более дешёвых и эффективных по экономии тепловой энергии решений – одна из главных задач, решаемых в процессе проектирования энергоэффективного здания.

Авторами работ [58, 59, 60] исследованы процессы тепломассопереноса в наружных ограждениях зданий и структурные параметры строительных материалов, обеспечивающие энерго- и ресурсосберегающий эффект.

Опыт эксплуатации зданий показывает, что наружные ограждения с вентилируемыми воздушными прослойками превосходят сплошные конструкции по энергоэффективности и к тому же имеют меньшую массу. Ещё в 70-е годы прошлого столетия ЦНИИЭПжилища разработал ограждающие конструкции с однократным и многократным движением воздуха, двухслойные керамзитобетонные панели с вентилируемым крупнопористым слоем, легкие навесные панели с вентилируемой прослойкой. Последняя в этих и других подобных конструкциях обычно располагается в толще панели и может вентилироваться наружным воздухом с выходом в помещение. При этом происходит утилизация части теплового потока и возникает энергосберегающий эффект, величина которого зависит от целого ряда геометрических и теплоэнергетических параметров – поперечного сечения и длины прослойки, её месторасположения в конструкции, температур наружного и внутреннего воздуха, скорости его движения, коэффициента теплообмена и др.

Однако задача нестационарной теплопередачи через наружное ограждение с вентилируемой воздушной прослойкой решается сложным путём на основе дифференциальных уравнений теплопроводности с использованием метода конечных разностей. Эту задачу удалось упростить Богословскому В.Н., который решил систему уравнений теплового баланса для элемента dx наружного ограждения и ввёл понятие среднесуточных значений температуры воздуха t_x в сечении x прослойки. На основе понятия величины t_x была разработана и решена расчётная модель по утилизации тепла верхних слоёв земли в вентилируемых подземных каналах [61].

Выполненный нами анализ месторасположения воздушной прослойки показал, что более интенсивный теплообмен между воздухом помещения и прослойки будет происходить при её размещении со стороны внутренней поверхности наружного ограждения, где тепловой поток наибольший, а термосопротивление разделяющей перегородки незначительное. С целью минимизации термосопротивления конструкция перегородки должна быть принята в виде тонкой пластины.

Недостатками такого способа устройства воздушной прослойки являются появление в холодный период года обильного конденсата на поверхности пластины со стороны помещения и большая вероятность последующего её обледенения вблизи входа наружного воздуха. Для предотвращения столь неблагоприятного ухудшения санитарно-гигиенических условий эксплуатации была принята следующая конструкция прослойки: её форма представляет собой канал на внутренней поверхности наружной стены; канал закрыт пластиной из металлического листа, имеющего практически не учитываемое в расчётах термосопротивление; у задней стенки канала предусмотрен термовкладыш с целью компенсации потери общего сопротивления теплопередаче стены.

Поступивший в прослойку наружный воздух движется с заданной скоростью, регулируемой расположенным у выхода из прослойки вытяжным вентилятором. Приточное отверстие канала закрывается заглушкой с помощью механического или электрического привода, когда температура наружного воздуха падает ниже нуля. При необходимости может открываться отверстие канала с внутренней стороны стены. Со стенки канала в водоприёмную напольную ёмкость стекает конденсат, при испарении которого уменьшается сухость воздуха отапливаемого помещения.

Исходя из этого, область применения рассмотренной ниже расчётной модели ограничена положительными температурами наружного воздуха $t_n \geq 0$ °С; математическое описание этой модели состоит из следующей системы уравнений, основанной на вышеупомянутом понятии среднесуточной температуры t_x воздуха в прослойке:

$$t_x = t_c - (t_c - t_n) \cdot e^{-Ax}, \quad (4.8)$$

где
$$t_c = C_0 / D_0. \quad (4.9)$$

Параметры C_0 и D_0 являются комплексными оценочными критериями, связанными с коэффициентами теплообмена и термическими сопротивлениями конструктивных слоёв наружного ограждения. Параметр A из уравнения (4.8) определяется по формуле

$$A = \alpha_k \cdot D_0 / (G \cdot c), \quad (4.10)$$

где α_k – коэффициент конвективного теплообмена между воздухом в прослойке и её поверхностями,

$$\alpha_k = 3,25 \delta_{\text{пр}}^{-0,2} \cdot v_{\text{пр}}^{0,8}, \quad (4.11)$$

здесь $\delta_{\text{пр}}$ – высота прослойки, м;

$v_{\text{пр}}$ – скорость движения воздуха в прослойке, м/с;

G – количество воздуха, проходящего через прослойку,

$$G = v_{\text{пр}} \cdot \rho \cdot \delta_{\text{пр}} \cdot \delta_{\text{пр}}^1, \quad (4.12)$$

здесь ρ – плотность приточного воздуха, кг/м³;

$\delta_{\text{пр}}^1$ – ширина прослойки, м;

c – удельная теплоёмкость воздуха, $c = 1005$ Дж/(кг·°С).

Оценку энергоэффективности использования данного способа утилизации тепла производили для 10-этажного здания, имеющего в конструкции наружной стены воздушную прослойку длиной $l_{\text{пр}} = 30$ м (рис. 4.1,а). Воздух, прошедший по всей прослойке, попадает в квартиру, расположенную на 10-м этаже и имеющую геометрические размеры 9,6×6×3 м. Конструктивное решение стены представлено на рис. 4.1,б.

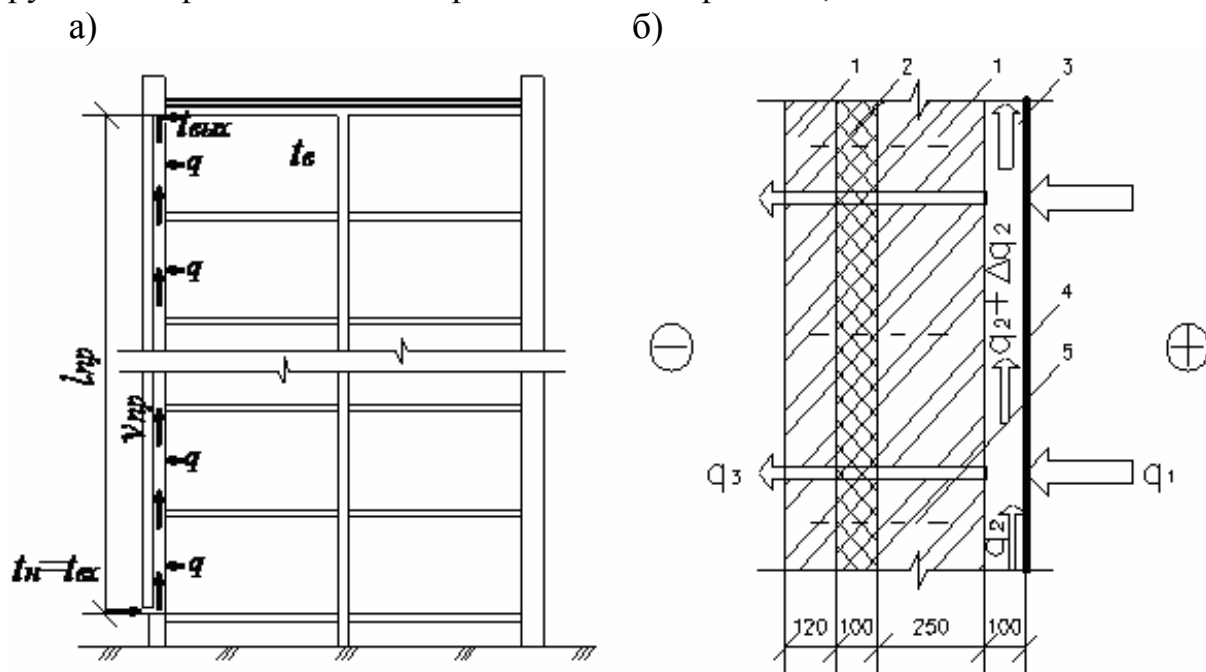


Рис.4.1. Схема утилизации тепла:

а – в здании; б – в наружной стене:

1 – кирпичная кладка; 2 – минеральная вата; 3 – воздушная прослойка;

4 – алюминиевая пластина толщиной 1 мм; 5 – гибкие связи

В расчётной модели были приняты: температура наружного воздуха $t_n = +1$ °С, температура помещения $t_b = +20$ °С, объём приточного воздуха равен 172,8 м³/ч (он обеспечивает нормативный воздухообмен в объёме 3 м³ воздуха на 1 м² площади помещения в час), скорость движения воздуха в прослойке $v_{пр} = 0,4$ м/с, сечение канала 1,2×0,1 м (0,1 – толщина δ воздушной прослойки).

При решении найдены:

✓ коэффициент конвективного теплообмена между воздухом в прослойке и её поверхностями по формуле (4.11):

$$\alpha_k = 3,25 \cdot 0,1^{-0,2} \cdot 0,4^{0,8} = 2,47 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{°С)};$$

✓ среднесуточные значения температуры воздуха t_x в сечении x прослойки (см. табл. 4.1) по формуле (4.8):

$$t_x = 18,9 - (18,9 - 1) \cdot e^{-0,043x};$$

✓ значения оценочных критериев для определения величины t_c :

$$C_0 = 22,2 \text{ °С}; D_0 = 1,18;$$

✓ количество воздуха G , проходящего через прослойку, для нахождения параметра A в формуле (4.12):

$$G = 0,4 \cdot 1,3 \cdot 0,1 \cdot 1,2 = 0,067 \text{ кг/с},$$

✓ параметр A по формуле (4.10):

$$A = 2,47 \cdot 1,18 / (0,067 \cdot 1005) = 0,043.$$

Основным показателем при определении эффективности предложенного способа утилизации тепла наружным ограждением принимается значение температуры t_x в любом сечении воздушной прослойки. Для более подробного рассмотрения изменения температуры t_x по длине прослойки ее разделили на шесть равных частей, в каждой из которых определили температуру воздуха (см. табл. 4.1 и рис.4.2).

Т а б л и ц а 4 . 1

Изменение температуры воздуха t_x по длине прослойки

Параметры	Температура воздуха в прослойке t_x , °С, при расстоянии x , м, от входа в прослойку и при скорости движения воздуха $v = 0,4$ м/с						
x , м	0	5	10	15	20	25	30
t_x , °С	1	4,5	7,2	9,5	11,3	12,8	14

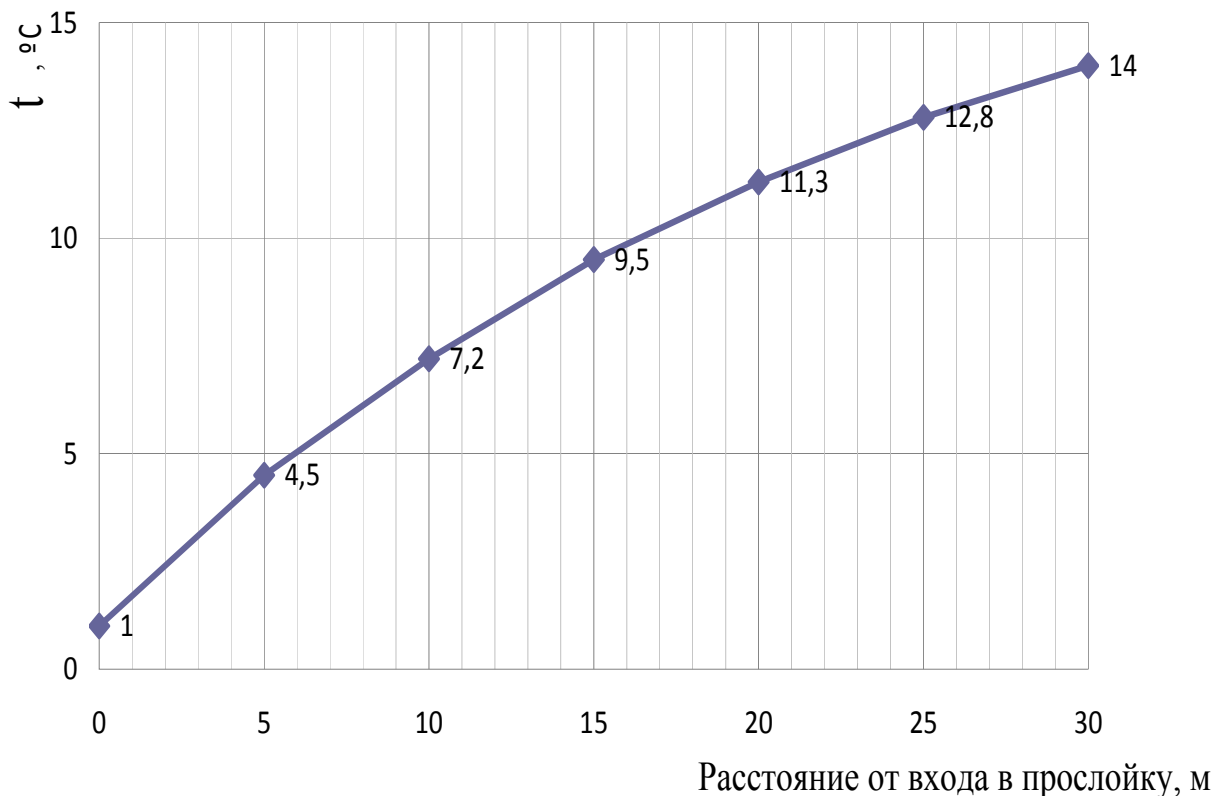


Рис. 4.2. Зависимость температуры воздуха t_x в воздушной прослойке от расстояния x до входа в прослойку

Данные, приведенные в табл. 4.1 и на рис. 4.2, показывают, что при поступлении в воздушную прослойку наружного воздуха с температурой $+1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при прохождении им всей ее длины, равной 30 м, температура приточного воздуха t_x составляет $+14\text{ }^{\circ}\text{C}$. Подогретый до этой температуры вентиляционный воздух обеспечивает воздухообмен только одного помещения на верхнем этаже. Аналогичные каналы могут быть устроены для ряда других помещений этого и более нижних этажей. Расчеты свидетельствуют о том, что хотя с уменьшением высоты прослойки величина t_x снижается, однако для верхних этажей здания она остается достаточно высокой и составляет, например, для 9 и 8 этажей соответственно $13,3$ и $12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Предлагаемый способ утилизации уходящего теплового потока наружным ограждением дает возможность уменьшить количество тепла, расходуемого на подогрев приточного вентиляционного воздуха, поступающего не из традиционных приточных отверстий (через форточки, фрамуги и т.п.), а из воздушной прослойки наружного ограждения.

4.3. Тепловая эффективность наружных ограждений зданий при фазовых превращениях влаги

В этом подразделе дана приближенная оценка тепловых потерь через наружные ограждающие конструкции с учетом различной влажности материала и в условиях промерзания наружного слоя при стационарной теплопередаче.

При проведении теплотехнического проектирования наружных ограждающих конструкций, составлении энергетического паспорта зданий теплопроводность материала обычно определяют по условиям эксплуатации А или Б [52,53]. Эти условия, связанные только с влажностным режимом помещений и зоной влажности территории строительства, устанавливаются раз и навсегда на весь длительный период эксплуатации здания. Они не учитывают зависимость коэффициента теплопроводности от влажностного состояния материала и от фазовых превращений влаги в его капиллярно-пористой структуре при периодических воздействиях потоков тепла и влаги. В осенний сезон года наружный слой стен может сильно увлажняться косыми дождями и оставаться в стабильно влажном состоянии вплоть до очередного летнего периода естественной сушки конструкций.

К переувлажнению материала ограждающих конструкций приводят ошибки на этапах проектирования, строительства и эксплуатации зданий. При проектировании защиты от переувлажнения ограждений в соответствии с требованиями тех же норм могут быть недостаточно учтены условия эксплуатации (промерзание наружного слоя конструкции, капиллярный подсос грунтовой влаги, климатические факторы района строительства). В процессе строительства здания часто отмечаются дефекты по устройству системы наружного водоотвода с крыш, пароизоляционного слоя или горизонтальной гидроизоляции наружных стен, герметичности стыковых соединений их элементов. При эксплуатации здания нарушаются сроки ремонта элементов и конструктивных слоев, влияющих на влажностное состояние наружных ограждений (карнизные свесы, водоотводящие трубы, слои кровли, подоконные фартуки, цоколи, отмостка).

С наступлением периода низких температур наружный слой увлажненных конструкций ограждений подвергается промерзанию на определенную толщину δ_z , которая меняется во времени. Процессы теплообмена в таких конструкциях связаны с фазовыми превращениями влаги – льдообразованием, таянием, испарением, конденсацией. Это вызывает заметные изменения теплофизических показателей материалов, теплового баланса в ограждении, постепенное снижение прочностных характеристик конструкции.

В табл. 4.2 показаны три характерные конструктивные схемы однослойной стены. На второй схеме, в отличие от первой, имеются экран на отnose в виде сайдинга и вентилируемая воздушная прослойка, оказывающая осушающий эффект на материал конструкции и обеспечивающая влажностное состояние материала в пределах нормативных требований. Третья схема дополнена наружным теплоизоляционным слоем, который по требованиям тех же норм устраивается для всех вновь возводимых стен,

приведенное сопротивление теплопередаче которых оказывается ниже требуемой величины.

Линии распределения температуры по толщине ограждений показывают, что наружный слой теплоизоляции (схема №3) позволяет удерживать основной массив стены в зоне положительных температур. Однако влага, содержащаяся в капиллярах и порах конструкции по схемам 1 и 2, может подвергаться замерзанию при достаточно длительном воздействии низких температур до границы, где линия температуры опускается ниже нуля.

Тепломассоперенос в однослойном наружном ограждении при отрицательной температуре и при отсутствии фильтрационного движения описывается дифференциальным уравнением [62]

$$c \cdot \gamma_0 \cdot \frac{\partial t}{\partial z} = \operatorname{div}(\lambda \cdot \nabla t) + \frac{\xi_{\text{л}}}{1 - \xi_{\text{л}}} \cdot r \cdot \gamma_0 \cdot \frac{\partial u_{\text{ж}}}{\partial z}, \quad (4.13)$$

где c – удельная теплоемкость материала;
 γ_0 – плотность материала в сухом состоянии;
 λ – коэффициент теплопроводности материала;
 r – тепло льдообразования;
 u – массовое содержание незамерзшей воды;
 $u = u_{\text{ж}} + u_{\text{л}}$ – удельное массосодержание (сравнительное массосодержание водяного пара пренебрежительно мало);
 $\xi_{\text{л}}$ – коэффициент льдистости,

$$\xi_{\text{л}} = \frac{u_{\text{л}}}{u_{\text{л}} + u_{\text{ж}}};$$

здесь $u_{\text{л}}$, $u_{\text{ж}}$ – массовое содержание соответственно льда и воды. Коэффициент $\xi_{\text{л}}$ практически не зависит от влагосодержания материала ограждения и является однозначной функцией температуры: $\xi_{\text{л}} = f(t)$ [62].

Уравнение (4.13), в котором потенциалом переноса пара является градиент температуры ∇t , а влаги – градиент влагосодержания $\nabla u_{\text{ж}}$, справедливо при любых температурах тела:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = \operatorname{div}(a_m \cdot \nabla u_{\text{ж}} + a_m \cdot \delta \cdot \nabla t), \quad (4.14)$$

где a_m – коэффициент потенциалопроводности суммарного переноса пара и жидкости;

δ – суммарный термоградиентный коэффициент,

$$\delta = \frac{(a_{m\text{п}} \cdot \delta_{\text{п}} + a_{m\text{ж}} \cdot \delta_{\text{ж}})}{a_m}.$$

При $\xi_{\text{л}} = 1$, то есть когда вся вода в наружном слое ограждения превращается в лед,

$$\frac{\partial u_{\text{л}}}{\partial z} = \operatorname{div}(a_{m\text{п}} \cdot \delta_{\text{п}} \cdot \nabla t), \quad (4.15)$$

где $a_{m\text{п}}$ – коэффициент потенциалопроводности переноса пара;

$\delta_{\text{п}}$ – термоградиентный коэффициент переноса пара.

Решение практических задач о теплопередаче с учетом фазовых превращений влаги и скорости их прохождения по толщине наружного ограждения в реальных (нестационарных) условиях эксплуатации с использованием уравнений (4.13), (4.14), (4.15) представляет известные математические трудности. Воспользуемся более простой моделью, учитывающей только промерзание увлажненного материала и позволяющей оценить величину тепловых потерь через такое ограждение. При этом примем следующие допущения:

1. С наступлением долговременного периода сильного похолодания температура на наружной поверхности ограждения понизилась до постоянной отрицательной величины $t_n = \text{const}$.

2. В толще ограждения на подвижной границе промерзания сохраняется температура начала промерзания влаги t_3 .

3. В мерзлой и во влажной зонах ограждения температура изменяется по линейному закону.

В соответствии с уравнением теплового баланса на границе промерзания конструкции [63], в капиллярах и порах материала выделяется тепло льдообразования

$$r \cdot i \cdot u_{\text{ж}} \cdot \gamma_0 \cdot \frac{d\delta_3}{dz} = \lambda_3 \cdot \frac{\partial t_3}{\partial x} - \lambda_{\text{в}} \cdot \frac{\partial t_{\text{в}}}{\partial x}, \quad (4.16)$$

где $\lambda_3, \lambda_{\text{в}}, t_3, t_{\text{в}}$ – соответственно коэффициенты теплопроводности материала и его температура в мерзлой и влажной зонах наружного ограждения;

$u_{\text{ж}}$ – влажность материала;

i – доля замерзающей влаги;

γ_0 – плотность материала в сухом состоянии.

Для продолжительного и медленного характера изменения низких температур скорость продвижения границы промерзания $\frac{\partial \delta_3}{\partial z} \rightarrow 0$, а величина

r пренебрежительно мала. Тогда уравнение (4.16) теплового баланса на границе мерзлой и влажной зон можно представить исходя из условий стационарной теплопередачи:

$$\lambda_3 \cdot \frac{t_3 - t_n}{\delta_3} - \lambda_{\text{в}} \cdot \frac{t_{\text{в}} - t_3}{\delta - \delta_3} = 0, \quad (4.17)$$

где t_3 – температура начала замерзания влаги, °С;

δ_3 – глубина промерзшей зоны ограждения, м

Как известно, в конструкциях наружных ограждений с капиллярно-пористой структурой материала температура начала замерзания основной массы свободной влаги колеблется в диапазоне $-1 \dots -3$ °С. В рассматриваемой модели принята максимально возможная величина δ_3 , достигающая границы нулевого значения температуры на линии ее распределения (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Характеристика рассмотренных конструктивных схем
наружных ограждений

1	2	3
Коэффициенты теплопроводности материала λ_b , Вт/(м·°С)		
Кирпичная кладка $\lambda_b = 0,94$	Кирпичная кладка $\lambda_b = 0,7$	Кирпичная кладка $\lambda_b = 0,7$ Пенополистирол $\lambda_b = 0,041$

Значение коэффициента теплопроводности материала влажной зоны λ_b в уравнении (4.17) может быть найдено по известной зависимости:

$$\lambda_b = \lambda_c \left(1 + \omega_0 \cdot \frac{\delta_{\omega}}{100} \right), \quad (4.18)$$

где λ_c – коэффициент теплопроводности сухого материала;

ω_0 – влажность материала, % по объему;

δ_{ω} – прирост коэффициента теплопроводности на 1 % объемной влажности материала. Величина δ_{ω} зависит от вида капиллярно-пористого материала, его плотности и трудно поддается систематизации для получения общей зависимости теплопроводности материала от его влажности. Поэтому более точное значение коэффициента λ_b на стадии проектирования и эксплуатации здания целесообразно принимать по результатам экспериментального исследования зависимости $\lambda_b = f(\omega_0)$ для материала, применяемого в проекте или использованного в построенном здании.

Рассмотрим три влажностных состояния в течение отопительного периода года, в которых может находиться при долговременной эксплуатации материал наружного ограждения:

1. Стабильное состояние сорбционной влажности.
2. Предельно допустимое ее значение $\omega_{пр}^{сорб}$ за счет увеличения сорбционной влажности к концу отопительного периода.

3. Сверхсорбционная влажность материала при воздействии капельно-жидкой влаги.

Для ограждений по схемам 2 и 3 характерно первое из перечисленных влажностных состояний, поскольку вентилируемая прослойка обеспечивает удаление из стены излишней парообразной влаги, диффундирующей из помещения к наружной поверхности конструкции, а экран (сайдинг) защищает последнюю от проникновения снаружи капельно-жидкой влаги.

С целью приближенной оценки величины тепловых потерь через каждую из упомянутых конструкций наружных ограждений рассмотрим на примере:

- в качестве основной стены кладку из глиняного обыкновенного кирпича толщиной $\delta = 0,64$ м (без учета внутреннего слоя штукатурки);
- для конструкции по схеме 3 наружный слой теплоизоляции из пенополистирола $\gamma = 100$ кг/м³ толщиной 0,1 м.

Примем:

- ✓ максимально возможную глубину зоны промерзания стены по 1-й и 2-й схемам $\delta_3 = 0,37$ м (в табл. 4.2 эта зона заштрихована);
- ✓ величину температур: $t_3 = -2$ °С, $t_H = -25$ °С, $t_B = 20$ °С;
- ✓ коэффициенты теплоотдачи внутренней и наружной поверхностей ограждения соответственно 8,7 и 23 Вт/(м² °С).

Для определения величины влажности и коэффициента теплопроводности материала влажной зоны конструкции по схеме 1 примем второе влажностное состояние материала. Тогда $\omega_{пр}^{сopб} = 1,5$ % [1], а $\lambda_B = 0,94$ (по экспериментальным данным [63]).

Для конструкций по схемам 2 и 3 при первом влажностном состоянии материала может быть выбрано одно из двух рекомендуемых нормами условий эксплуатации – А или Б. Учитывая наличие вентилируемой прослойки под экраном, принимаем условие А. Тогда для кирпичной кладки $\lambda_B = 0,7$, а для пенополистирола $\lambda_B = 0,041$ [64].

Из уравнения (4.17) найдем коэффициент теплопроводности материала в зоне промерзания конструкции

- ✓ для конструкции по схеме 1

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_B(t_B - t_3) \cdot \delta_3}{(t_3 - t_H) \cdot (\delta - \delta_3)} = 7,65/6,21 = 1,23 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)},$$

- ✓ для конструкции по схеме 2

$$\lambda_3 = \frac{\lambda_B(t_B - t_3) \cdot \delta_3}{(t_3 - t_H) \cdot (\delta - \delta_3)} = 6,59/6,21 = 1,06 \text{ Вт/(м} \cdot \text{°С)}.$$

Особенность принятой физико-математической модели состоит в том, что мерзлую и влажную зоны наружного ограждения можно рассматривать

как отдельные слои, каждый из которых имеет определенное термическое сопротивление R .

В этом случае для конструкций ограждений по схеме 1 общее сопротивление теплопередаче R_0 , а также сопротивления теплопередаче промерзшей R_3 и влажной R_B зон найдутся из уравнений:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + R_3 + R_B + \frac{1}{\alpha_H},$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = 0,37/1,23 = 0,3 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

$$R_B = \frac{\delta - \delta_3}{\lambda_B} = 0,27/0,94 = 0,29 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

$$R_0 = 1/8,7 + 0,3 + 0,29 + 1/23 = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт}.$$

Определим величину тепловых потерь через 1 м² данной конструкции при максимальной глубине зоны промерзания:

$$Q = (t_B - t_H)/R_0 = 45/0,75 = 60 \text{ Вт}.$$

Для конструкции по схеме 2:

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = 0,37/1,06 = 0,35 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_B = 0,27/0,7 = 0,39 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$R_0 = 0,115 + 0,35 + 0,39 + 0,04 = 0,9;$$

$$Q = (t_B - t_H)/R_0 = 45/0,9 = 50 \text{ Вт}.$$

Для конструкции по схеме 3, в которой отсутствует слой промерзания

$$R_0 = 1/8,7 + 0,64/0,7 + 0,1/0,041 + 1/23 = 3,51 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт},$$

$$Q = 45/3,51 = 12,8 \text{ Вт}.$$

Если не учитывать промерзание наружного ограждения по схемам 1 и 2, то при тех же заданных условиях получим:

✓ для схемы 1

$$R_0 = 1/8,7 + 0,64/0,94 + 1/23 = 0,84 \text{ м}^2 \cdot \text{°C/Вт};$$

$$Q = 45/0,84 = 53,6 \text{ Вт};$$

✓ для схемы 2

$$R_0 = 1/8,7 + 0,64/0,7 + 1/23 = 1,07 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт};$$

$$Q = 45/1,07 = 42,1 \text{ Вт},$$

т.е. отмечается занижение тепловых потерь через эти конструкции соответственно на 10,6 и 15,8 %.

Если для конструкции по схеме 1 принять величину влажности материала, исходя из условия Б, а не из условия сверхсорбционного увлажнения, то имеем:

$$R_0 = 1/8,7 + 0,64/0,81 + 1/23 = 0,95 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт};$$

$$Q = 45/0,95 = 47,37 \text{ Вт},$$

т.е. величина занижения тепловых потерь составит уже не 10,6, а 21,1 %.

Согласно принятым допущениям, меньшая глубина промерзания δ_3 наружного ограждения будет наблюдаться при более высокой температуре наружного воздуха t_n . Например, при $t_n = -10 \text{ °C}$ для конструкции по схеме 1 величина δ_3 составит 0,17 м (см. среднюю линию распределения температуры в табл. 4.2). Область применения рассмотренной расчетной модели, значительно упрощающей реальный механизм теплопереноса, ограничивается стационарными условиями теплопередачи. Для нестационарных условий на движущейся границе промерзания из-за тепловой инерции конструкции будет отмечаться точка перелома линий распределения температуры при допущении, что температура во влажной и мерзлой зонах изменяется по линейному закону.

Таким образом, результаты расчета при принятых допущениях показывают, что с учетом сверхсорбционного увлажнения и промерзания наружного ограждения его сопротивление теплопередаче оказывается заметно ниже, а теплотери выше значений, получаемых для конструкции по общепринятой методике расчета.

В нормативных требованиях, изложенных в [52, 53], не рассматривается влияние на теплопроводность материала как сверхсорбционного состояния влажности (за исключением случаев воздействия высокоактивных в гигроскопическом отношении аэрозолей), так и промерзания ограждающей конструкции – параметров, изменяющих ее теплофизические показатели и тепловую эффективность. По этой причине приведенный коэффициент теплопередачи через наружные ограждающие конструкции и удельная величина тепловой энергии на отопление здания, непосредственно определяющая класс энергетической эффективности эксплуатируемого здания, могут получить заведомо заниженные значения.

5. ТРАДИЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ

5.1. Наружные стены

Наружные стены находятся в особых условиях эксплуатации, так как разделяют воздушные среды с разными температурно-влажностными показателями. На наружные стены оказывает воздействие целый комплекс факторов: циклические колебания температуры наружной воздушной среды, атмосферные осадки, солнечная радиация, ветровые усилия, транспортные шумы, химическая агрессия, силовые воздействия в виде статических нагрузок от собственной массы, крыши и перекрытий, напряжений от неравномерных осадок основания температурных деформаций.

Эти воздействия являются причиной сложных физических процессов, происходящих в толщине и на поверхности наружных стен, а именно: переноса потоков тепла и влаги, конденсации водяного пара, оттаивания и промерзания материала, его карбонизации и коррозии.

Однослойные стены проектируют из единого материала, который совмещает несущие и теплоизоляционные функции. В двухслойной конструкции стены эти функции разделены, а в трехслойной и многослойной ограждении каждую из функций выполняют различные материалы: несущую – материалы с хорошими прочностными характеристиками; теплоизолирующую – эффективные утеплители из вспученной пластмассы, минеральной ваты и др.; функцию пароизоляции – рулонные материалы и конструктивные слои с большим сопротивлением паропрооницанию. Для повышения теплоизоляционных качеств многослойной стены в ее конструкции иногда устраивают замкнутые или вентилируемые воздушные прослойки, теплоотражающие пленки, которые тоже входят в число слоев ограждения.

Выбор материалов и конструктивного решения стены осуществляют с учетом требований долговечности, противопожарных норм проектирования зданий и сооружений, а также в зависимости от статической функции этой стены.

Однослойные наружные стены изготавливают в основном из бетона и железобетона (для панельного варианта). Внутренние и наружные слои многослойных панелей – из этих же материалов, а также из металла, стеклопластика, асбестоцемента, пластмассы, дерева и его продуктов. Конструкции одно- и многослойных стен возводят или из изделий заводского изготовления, или монолитным способом в построечных условиях. Первый способ устройства стен традиционно наиболее распространен в нашей

стране, тогда как второй широко применяется за рубежом, в ряде стран Западной Европы и Америки.

При проектировании и эксплуатации наружных стен нередко предусматривают экран, который устраивается у наружной поверхности на отnose и изготавливается из плотных листовых или тонких бетонных плит. Наличие экрана с вентилируемой прослойкой снижает влагосодержание материала стены, что способствует сохранению его теплоизоляционных качеств, а также уменьшению перегрева помещений здания в летний период. Особенно эффективно применение экранов для стен, эксплуатируемых в условиях влажной воздушной среды, а также большой интенсивности солнечной радиации.

Конструкции наружных стен также различают по степени их тепловой инерции, которая характеризует свойство ограждающей конструкции сохранять или медленно изменять существующее распределение температур в толще ограждения, а также сохранять аккумулированное тепло окружающей среды. При равной величине сопротивления теплопередаче легкие конструкции в отличие от массивных быстрее охлаждаются при отключении системы отопления и быстрее нагреваются при периодическом воздействии солнечной радиации и высокой температуре воздуха.

5.1.1. Конструкции бетонных стен

Однослойные панельные конструкции наружных ограждений изготавливают из легких бетонов на пористых заполнителях (керамзитобетон, перлитобетон, аглопоритобетон и др.) и ячеистых бетонов средней плотности в сухом состоянии, равной соответственно 900...1200 и 600...800 кг/м³ (рис. 5.1,а,б). Однослойные бетонные и железобетонные панели стен подразделяют по структуре бетона (плотной, поризованной, крупнопористой, ячеистой структуры); по средней плотности бетона; по виду заполнителей (на плотных и пористых заполнителях).

Для предотвращения чрезмерного увлажнения в легкобетонных панелях предусматривают с наружной стороны защитно-отделочный слой толщиной 20...30 мм из паропроницаемого обычного или декоративного бетона или раствора. Улучшение эксплуатационных качеств этого слоя обеспечивают выбором материала, имеющего модуль упругости и усадочные деформации, близкие к аналогичным показателям основного бетона панели. На внутреннюю поверхность панели наносится отделочный слой из плотного раствора толщиной не более 15 мм, а в помещениях с влажным режимом – слой толщиной не более 20 мм.

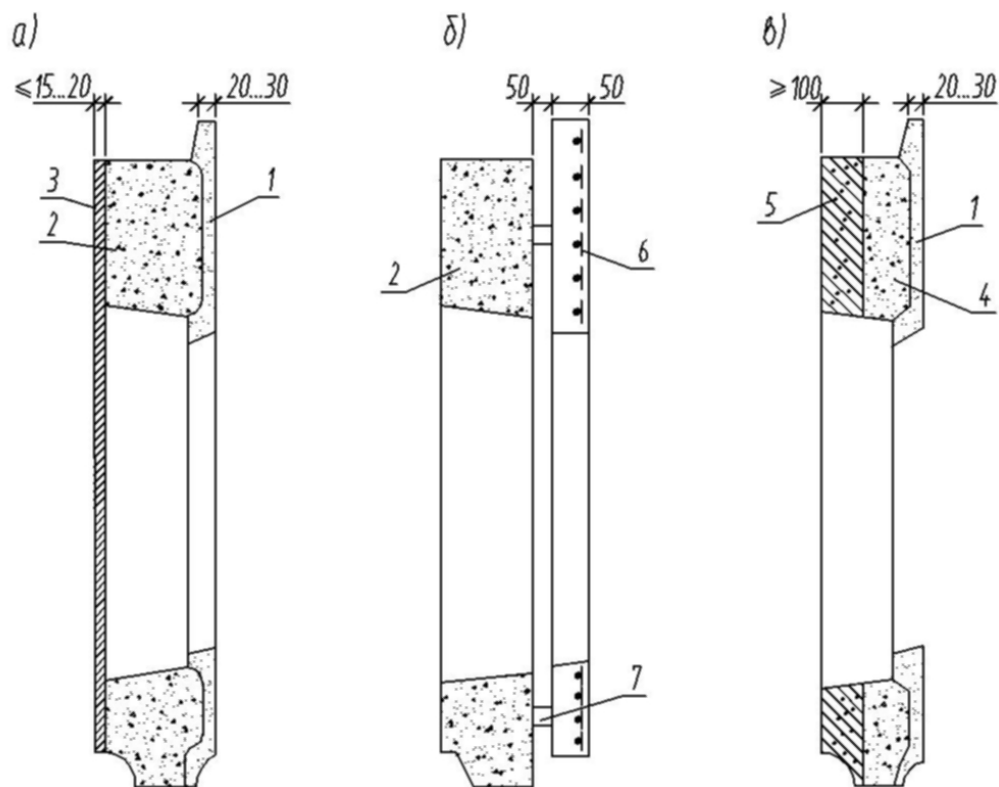


Рис. 5.1. Конструкции однослойной и двухслойной бетонных панелей наружных стен:

- а – однослойная панель; б – однослойная панель с бетонным экраном на стальных связях; в – двухслойная панель;
 1 – наружный защитно-отделочный слой; 2 – теплоизоляционно-конструктивный легкий бетон; 3 – внутренний отделочный слой; 4 – теплоизоляционный крупнопористый беспесчаный легкий бетон; 5 – тяжелый или конструктивный легкий бетон на кварцевом песке; 6 – защитно-декоративный экран из конструктивного легкого бетона; 7 – стальные связи

В однослойных панелях из автоклавного ячеистого бетона предусматривают только наружный защитно-декоративный слой из цветных поризованных растворов плотностью $1200...1400 \text{ кг/м}^3$. В качестве наружного отделочного слоя однослойных панелей используют также плитки керамические, стеклянные, дробленые каменные материалы, синтетические водостойкие краски и другие материалы.

Однослойные несущие и самонесущие панели армируют соответственно рабочей и конструктивной арматурой из каркасов в виде пространственных блоков размером на панель для восприятия усилий от нагрузки при транспортировке и монтаже.

При использовании в качестве несущих стен однослойных панелей из легкого бетона высота зданий ограничивается 9...12 этажами. Несущие стены из автоклавного ячеистого бетона применяются преимущественно в малоэтажном строительстве. Однако при условии обеспечения необходимой прочности и деформативности их предусматривают и для многоэтажных зданий.

Легкобетонные панели широко распространены в районах, где имеются естественные пористые заполнители или налажено производство искусственных. Изготовление ячеистобетонных панелей эффективно при дефиците этих заполнителей благодаря относительной доступности и распространенности исходного сырья.

Однослойные стены из легкого и ячеистого бетонов применяются для ограждения помещений с нормальным температурно-влажностным режимом и неагрессивной или слабоагрессивной воздушной средой. При использовании такой конструкции стен в зданиях с агрессивной средой их внутреннюю поверхность защищают антикоррозийными составами, а также пароизоляционным покрытием (в условиях повышенной влажности). Для обеспечения долговечности конструкций стен предусматривают их защиту от интенсивного увлажнения атмосферными осадками и грунтовой влагой.

Однослойные стены из ячеистого бетона используют для зданий с относительной влажностью внутреннего воздуха до 60 %, а при устройстве пароизоляции на внутренней поверхности – для зданий с влажностью воздуха внутри помещений до 75 %. Однослойные стены из ячеистого бетона можно применять в различных климатических условиях, однако в районах с влажным климатом и сильными ветрами натурные обследования выявили ряд их недостатков: появление протечек по вертикальным и горизонтальным стыкам между панелями и по контуру оконных проемов, повышение увлажненности основного материала наружной стены, что снижает ее теплотехнические качества.

Преимуществом однослойных стен считается простота изготовления конструкции. Основной их недостаток заключается в том, что несущая и теплоизолирующая функции совмещены в одной конструкции. Снижение теплопроводности материала за счет плотности имеет предел, так как с уменьшением последней ухудшаются в целом физико-механические характеристики материала. Это противоречие разрешается в двухслойных и особенно в многослойных конструкциях стен благодаря применению эффективных утеплителей.

Несущий слой *двухслойных панелей* выполняют из тяжелого или конструктивного легкого бетона на кварцевом песке. В соответствии с принципом расположения слоев по плотности материала более плотный (несущий) слой располагают со стороны помещения.

Толщину фасадного защитно-декоративного слоя из бетона или цементно-песчаного раствора принимают в зависимости от структуры бетона теплоизоляционного слоя: для пористой структуры – 30, для плотной – 20 мм. Толщина несущего слоя должна быть не менее 100 мм.

Данные исследований несущей способности двухслойных панелей показывают, что при действии внецентренно приложенной вертикальной на-

грузки несущий и теплоизоляционный слой работают совместно и сцепление между ними достаточно жесткое, что позволяет передавать вертикальную нагрузку в горизонтальных стыках одновременно на оба слоя. Для двухслойных панелей зданий, возводимых в обычных инженерно-геологических условиях, предусматривают только конструктивное армирование, за исключением некоторых участков панелей в зонах концентрации местных напряжений (перемычки, узкие простенки). Несущую способность данных участков обеспечивают расчетным армированием.

В двухслойных панелях, как и однослойных, конструктивная арматура состоит из сварного пространственного блока, выполненного из плоских каркасов и соединяющих их стержней. Рабочую арматуру перемычек и элементы связей размещают в несущем слое панели. Арматурные стержни, расположенные в теплоизоляционном слое, покрывают антикоррозионным составом или выполняют из стали с повышенной коррозионной стойкостью.

Трехслойные панели. В отличие от однослойных трехслойные панели позволяют использовать высокоэффективный утеплитель, что обеспечивает повышенное сопротивление теплопередаче конструкции, которое по ее габаритам обычно превышает требуемое в 1,1...2 раза.

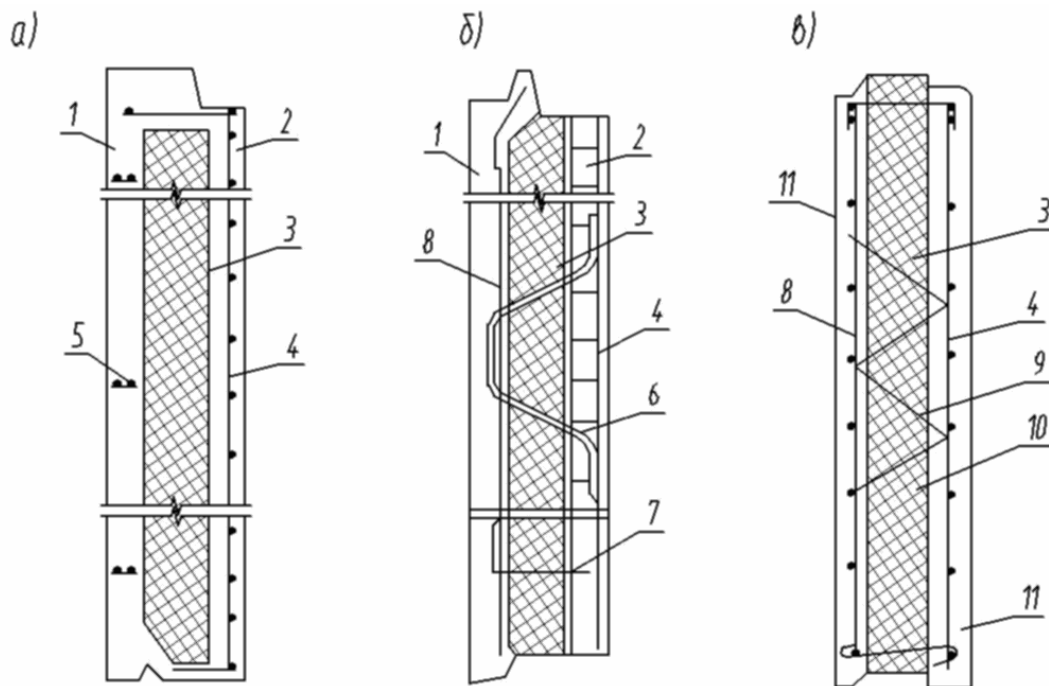


Рис. 5.2. Трехслойные стеновые панели с эффективным утеплителем на жестких и гибких связях:

- а – конструкция трехслойной легкогобетонной панели с жесткими связями;
- б, в – конструкция трехслойной легкогобетонной панели с гибкими связями;
- 1,2 – соответственно наружный и внутренний слои из конструктивного легкого или тяжелого бетона; 3 – эффективный утеплитель;
- 4, 8 – арматура соответственно внутреннего и наружного слоев;
- 5 – каркасы-фиксаторы; 6,7 – гибкие связи (распорки, подвески);
- 9 – гибкая связь из стержней диаметром 4...6 мм с шагом 500 мм;
- 10 – пенополистирол; 11 – железобетонный слой

Особенно выгодно применение такой конструкции панели в суровых климатических условиях. Разработанные ЦНИИпромзданий трехслойные панели предназначены для применения в климатических районах с расчетной зимней температурой до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, летней до $+40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Панель с защитным покрытием может использоваться в зданиях с агрессивной средой, имеющих влажность внутреннего воздуха более 60 %, и в зданиях с влажным и мокрым режимом эксплуатации (табл. 5.1).

Т а б л и ц а 5.1

Применение трехслойных стен из железобетонных панелей
в промышленных зданиях

Слой тепло- изоляции	Плотность тепло- изоляции, кг/м ³	Толщина панели, мм	$t_{\text{расч}}$ наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$, при $t_{\text{внутр}} = 18^{\circ}\text{C}$		
			$\varphi = 60\%$	$\varphi = 75\%$	$\varphi = 85\%$
Пенополистирол	40	200	-60	-30	-27
		250	-	-65	-47
		300	-	-55	-
Минерало-ватные плиты	125	200	-35	-10	-
		250	-65	-35	-
		300	-	-60	-
Ячеистый бетон	800	250	-40	-	-
		300	-49	-	-
	600	160	-37	-	-

Эффективность применения трехслойных панелей в суровых климатических условиях подтверждается целым рядом исследований, проведенных на объектах в территориальных районах Сибири. Большое распространение здесь получила конструкция панели с внутренним слоем толщиной 120 мм, наружным – толщиной 80 мм, выполненными из керамзитобетона плотностью 1400 кг/м^3 , и с утеплителем из фенольного пенопласта толщиной 150 мм, плотностью $30\text{...}50\text{ кг/м}^3$. В многоэтажном домостроении используется конструкция панели из керамзитобетона плотностью $1200\text{...}1800\text{ кг/м}^3$, пенопластов, а также жестких минераловатных плит на синтетической связке плотностью $150\text{...}200\text{ кг/м}^3$. Толщина теплоизоляционного слоя изменяется в пределах $120\text{...}220\text{ мм}$, а общая толщина панели составляет $300\text{...}400\text{ мм}$.

По способу соединения панели подразделяются на два вида: конструкция с жестким соединением наружных слоев в виде постановки бетонных ребер между ними; конструкция с гибким соединением наружных слоев из стальных связей и непрерывным теплоизоляционным слоем. Среди трехслойных панелей основным конструктивным решением является ограждение с различными вариантами утеплителей, имеющее жесткие бетонные связи по контуру.

На основании комплексных исследований конструкции трехслойной железобетонной панели, выполненных ЦНИИЭПжилища, были выпущены рабочие чертежи панелей для жилых зданий с шагом поперечных стен 240...360 см и высотой этажа 2,8 м.

В номенклатуру изделий для промышленных зданий входят рядовые панели, простеночные, панели-перемычки, парапетные панели-перемычки, удлиненные угловые панели, а также цокольные панели, совмещенные с фундаментной балкой при шаге колонн 12 м. Разрезка панелей может быть горизонтальной и вертикальной. Железобетонные слои, соединенные между собой арматурой периодического профиля диаметром 10 мм в виде П-образных гибких связей, выполнены из тяжелого бетона класса В22,5. Стальные связи имеют антикоррозийную защиту, обеспечиваемую оцинковкой или алюминированием. В качестве теплоизоляции используют жесткие минераловатные плиты на синтетическом связующем или пенополистирол толщиной соответственно 50, 80, 100, 150, 300 и 50, 75, 100, 150 мм. Толщина наружного железобетонного слоя 50 мм, а внутреннего – 100 или 120 мм.

В каркасных общественных зданиях трехслойные панели также являются навесной конструкцией и крепятся к колоннам каркаса с помощью сварки накладных консольных элементов. Панели длиной до 600 см работают на кривоизгиб в результате действия собственной массы ограждения и горизонтальной ветровой нагрузки.

Жесткие связи в виде бетонных ребер по контуру панели и оконного проема являются своеобразными «мостиками холода», так как теплопроводность их материала обычно значительно выше, чем теплопроводность теплоизоляционного слоя. Как было отмечено выше, толщина бетонных ребер принимается в пределах 40...50 мм, что обеспечивает достаточную жесткость соединения внешних слоев. Однако на практике толщина ребер нередко превышает этот предел, что увеличивает теплопроводность панелей в зонах стыков и может привести к образованию конденсата на их внутренней поверхности. Многочисленные натурные обследования наружных трехслойных панелей показали, что сквозные жесткие ребра значительно ухудшают теплоизоляционные качества панелей, тогда как сопротивление теплопередаче утеплителя остается по-прежнему высоким.

Изготовление внешних слоев и ребер из легкого бетона взамен тяжелого позволяет повысить теплозащитную способность панелей. Поперечное сечение внешних слоев такой панели обычно выполняется в виде сплошной плиты, что значительно упрощает ее формование. В случае использования влагоемких теплоизоляционных материалов при формовании их обертывают водонепроницаемыми оболочками.

В несущем варианте панели конструктивное армирование внутреннего несущего слоя выполняют в виде расположенных по контуру панели и

проемов сварных каркасов и арматурной сетки наружного слоя, которые затем объединяют в пространственный арматурный блок с помощью арматурных каркасов жестких связей или элементов гибких связей. Внутренний несущий слой изготавливают толщиной не менее 100 мм, наружный – 65...80 мм из бетона слитной структуры, а жесткие ребра связей – из такого же бетона толщиной 40...50 мм.

К недостаткам панелей с жесткими связями относится также деформация, возникающая в результате температурных деформаций наружного железобетонного слоя, тогда как соединение наружного и внутреннего слоев гибкими связями позволяет обеспечить их независимое перемещение.

Использование в конструкции трехслойной панели гибких связей из арматурных стержней значительно повышает термическую однородность ограждения. Такая конструкция панели находит все большее применение в климатических районах с низкими расчетными температурами и длительным отопительным периодом, а также в условиях жаркого климата и интенсивной солнечной радиации. В последнем случае целесообразно устройство в панелях вентилируемой воздушной прослойки.

Гибкие связи изготавливают в виде распорок, подвесок и подкосов из арматурной стали диаметром 5...20 мм. Распорки служат для фиксации положения бетонных слоев, подвески – для передачи вертикальных нагрузок от внешнего слоя и утеплителя на внутренний, а подкосы препятствуют взаимным перемещениям слоев по горизонтали. Такая конструкция связей обеспечивает независимость статической работы бетонных слоев и жесткость панели при монтаже и транспортировке.

В качестве утеплителя в панелях на гибких связях применяют эффективные теплоизоляционные материалы, через которые облегчается сквозной пропуск элементов гибких связей, а именно: пенопласты различного типа, минеральную вату, реже стекловату и др. В панелях с жесткими связями в отличие от конструкций с гибкими связями чаще находят применение более твердые теплоизоляционные материалы: ячеистый бетон, пеностекло, плиты цементного фибролита и др.

Хотя использование гибких связей улучшает теплоизоляционные качества всей конструкции панели, включая стыковые соединения, однако стыки в такой же степени подвергаются неблагоприятным атмосферным воздействиям, как и стыки в панелях с жесткими связями. Для снижения водо- и воздухопроницаемости стыков в них предусматривают соответствующие зоны защиты, при этом ближе к наружной поверхности располагается зона водозащиты.

Для вертикальных стыков в этой зоне размещают водоотбойные ленты из различных материалов. Зону воздухозащиты делают из воздухозащитных лент и пористых прокладок с наклеиванием на внутренние поверхно-

сти стыка. Между двумя зонами находится декомпрессионный канал. В качестве материала лент может использоваться неопрен и тиокол, то есть полисульфидный каучук.

Такая конструкция стыка, получившего название «открытого», наиболее целесообразна для использования в трехслойных панелях с гибкими связями, поскольку может применяться в различных климатических условиях, в том числе и суровых. Для панелей с жесткими связями такие стыки рекомендуется использовать при расчетной зимней температуре до $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для обоих типов панелей рационально применение стыков открытого типа в климатических районах с повышенной влажностью, так как они отличаются высокой водонепроницаемостью. Влагозащитные свойства стыка повышаются при устройстве в горизонтальных стыках противодождового барьера, а также водоотводящего слива в местах пересечения вертикальных и горизонтальных стыков.

Дальнейшее улучшение теплотехнических свойств трехслойных панелей может быть обеспечено путем устройства внутри них непрерывного теплоизоляционного слоя из заливочных пенопластов (фенольных карбамидных, пенополиуретановых). Этот способ используется как в заводских условиях после затвердевания бетонных слоев, так и на строительной площадке в процессе монтажа панелей.

Сравнивая теплотехнические показатели различных конструкций наружных ограждений, следует отметить, что по сравнению с многослойными однослойные панели менее эффективны, их утолщение экономически нецелесообразно из-за больших затрат материала и сравнительно небольшого снижения суммарного расхода тепла. Энергозатраты на производство многослойных панелей существенно ниже, что будет повышать в дальнейшем эффективность их применения, поскольку с конца 70-х годов наблюдается четкая тенденция постоянного роста затрат на добычу топлива, а возможности совершенствования конструкций многослойных ограждений очень велики.

Бетонные стены в монолитном домостроении. Несмотря на то, что в нашей стране основной объем строительства приходится на домостроение из сборных элементов заводского изготовления, интерес к монолитному домостроению все возрастает. Это объясняется тем, что монолитные стены имеют ряд преимуществ перед сборными: более высокие тепло-, теплоизоляционные качества благодаря отсутствию стыков, большие возможности в архитектурно-композиционном решении фасада, выборе формы поверхности стены и др.

Конструкция наружной стены может состоять из одного, двух, трех или четырех слоев. Однослойные стены изготавливают толщиной 300...500 мм из легкого бетона плотностью 1200...1600 кг/м³. Достаточно высокие технико-экономические показатели имеют однослойные стены из ячеистого бетона,

которые получали широкое распространение в малоэтажном домостроении с середины 90-х годов прошлого столетия.

Двух- и трехслойные стены обычно проектируют в сборно-монолитном, редко – в монолитном варианте.

Особенностью конструктивного решения слоистых стен является наличие сборных наружных декоративно-теплоизоляционных элементов (в двухслойных конструкциях), а также защитно-декоративных (в трехслойных), которые могут служить опалубкой при возведении монолитного несущего слоя или прикрепляться к нему с помощью связей после его формирования и распалубки. В качестве декоративно-теплоизоляционных элементов часто используют многослойные керамзитобетонные панели-скорлупы с офактуренной поверхностью толщиной 18 см, плотностью 1000 кг/м³ либо блоки из керамзитобетона.

Иногда утеплитель в двухслойных сборно-монолитных стенах располагают с внутренней стороны. Его устраивают обычно из пенобетонных блоков или плит, укладываемых на перекрытие в виде стенки высотой в этаж. Расположение сборных элементов утеплителя со стороны помещения удобно для производства работ, но не обеспечивает достаточной теплоустойчивости наружной стены в условиях холодной зимы из-за небольшого теплоусвоения материала утеплителя. Защитно-декоративные элементы в трехслойных сборно-монолитных стенах могут выполняться или в виде бетонных плит с прикрепленными к ним плитами эффективного утеплителя, или в виде двухслойных панелей с внутренним слоем утеплителя.

В зарубежной практике сборный слой, служащий несъемной опалубкой, в такой конструкции стены выполняют также из цементно-стружечных и древесно-стружечных плит (Австрия). В качестве несъемной опалубки используют и изделия из пенополистирола, изготавливаемые методом экструзии (Италия, Швейцария, Испания). Недостатком последнего конструктивного решения является невысокая огнестойкость пенополистирола, даже марки ПСБ-С, характеризуемого как трудногорючий. Поэтому область применения подобных конструкций следует ограничивать объектами временного проживания и хозяйственного назначения.

К перспективным материалам для несъемных опалубок относится стеклофибробетон, отличающийся прочностью, легкостью, технологичностью (способностью принимать различную форму). Этот материал в виде облицовочных панелей-скорлуп широко применяют за рубежом (США, Япония), но он постепенно внедряется и в отечественную практику строительства.

В трехслойных монолитных стенах, так же, как и в их сборном варианте, используют жесткие и гибкие связи, эффективный утеплитель и аналогичные виды отделок поверхностей фасада. При устройстве жестких связей наружный монолитный слой «разрезается» на уровне перекрытий гори-

зонтальными и вертикальными технологическими швами, в которые затем заделывают упругие ленты. Это мероприятие позволяет устранить большие усилия от температурно-влажностных воздействий и усадочных деформаций, возникающие в связях и в монолитных бетонных слоях, так как жесткие связи препятствуют относительным смещениям последних как в плоскости, так и из плоскости стены.

Недостаток сплошных жестких связей – их высокая теплопроводность – устраняется устройством дискретных жестких связей, которые располагают в виде железобетонных шпонок с определенным шагом по горизонтали на уровне перекрытий. Выбор шага шпонок следует назначать таким, чтобы приведенное термическое сопротивление ограждения практически не снижалось по сравнению с его величиной для конструкций без шпонок. Податливые горизонтальные технологические швы локализируют в пределах этажа вертикальные перемещения наружного монолитного бетонного слоя, который будет «зависать» на дискретных жестких связях.

Очевидно, что однослойные и слоистые монолитные и сборно-монолитные наружные стены имеют недостатки и преимущества, аналогичные для таких же стен из сборных конструкций. Широко применяемые благодаря технологичности однослойные стены из монолитного бетона на пористых заполнителях отличаются большой энергоемкостью и по сравнению с другими монолитными ограждениями наименее экономичны. Указанных недостатков таких стен не удастся избежать и при снижении их объемной плотности, которое достигается путем улучшения характеристик пористых заполнителей и применения добавок. Из однослойных монолитных конструкций наиболее экономичны стены из ячеистого бетона, отличающиеся наименьшими суммарными энергетическими затратами.

Наиболее эффективны по технико-экономическим показателям из монолитных и сборно-монолитных наружных ограждений слоистые конструкции (они хотя и более трудоемки в изготовлении и более металлоемки, но дают снижение приведенных затрат, экономию топливно-энергетических ресурсов).

Таким образом, широкое использование слоистых конструкций наружных стен позволяет улучшить их технико-экономические показатели и снизить эксплуатационные расходы на отопление домов из монолитного бетона.

5.1.2. Стены из листовых материалов и эффективных утеплителей

Малая масса конструкций стен из листовых материалов дает возможность все шире применять их в промышленном и гражданском строительстве, особенно для сборно-разборных производственных и жилых зданий, инвентарных зданий контейнерного и сборно-разборного типов, предна-

значенных для эксплуатации на территории труднодоступных и удаленных районов, в том числе районов Крайнего Севера.

В конструктивном отношении стеновая панель может быть ребристой (каркасного типа), безреберной в виде сплошной трехслойной плиты панель «сэндвич» и двухслойной панели типа монопанели. Каркасные панели отличаются более жестким соединением конструктивных слоев и сопряжением панели с несущей конструкцией здания, поскольку в этих панелях, как правило, более рационально используется работа материала благодаря ребрам, воспринимающим внешние и внутренние воздействия. Это улучшает эксплуатационные характеристики ребристых панелей. Конструкции безреберных панелей в отличие от каркасных требуют использования утеплителей с повышенными механическими качествами, но являются более экономичными по расходу материалов и более технологичными в изготовлении.

Конструктивные качества плоских многослойных панелей зависят как от несущей способности (устойчивости) листов, которая обеспечивается выбором их профиля, так и от физико-механических качеств утеплителя.

Требования к физико-механическим свойствам утеплителя определяются типом конструкции панели. Так, в панелях двухслойных типа монопанели и трехслойных типа «сэндвич» пенопласт должен иметь следующие показатели соответственно: плотность, кг/м^3 , не менее 120 и 80, коэффициент теплопроводности, $\text{Вт/(м}\cdot\text{°C)}$, 0,058 и 0,046, влагопоглощение за 24 ч при относительной влажности воздуха 96 %, % по объему, не менее 1 и 0,2, прочность при растяжении, $\text{Па}\cdot 10^3$, не менее 1,5 и 3, адгезионную прочность соединений обшивок с пенопластом при равномерном отрыве, $\text{Па}\cdot 10^3$, не менее 1,5 и 3.

Этим требованиям для безреберных панелей соответствуют совмещенные фенолоуретановые, полиуретановые, фенольные пенопласты, армированные стекловолокном.

Панельные *стены с металлическими обшивками* выполняют из панелей ребристых каркасного типа или безреберных панелей. В панелях ребристых устраивают, как правило, два продольных и несколько поперечных ребер из горячекатаных или холодногнутых металлических профилей. Внешние воздействия на обшивке панели воспринимаются поперечными ребрами, затем передаются на продольные ребра, а от них – на ригели каркаса здания. Сечение обшивок, особенно плоских, при расчете панели на прочность и прогиб или совсем не учитывается или учитывается частично. Утеплитель же не влияет на работу ребристых панелей под нагрузкой. В полости панели он приклеивается к внутренней обшивке или зажимается каркасом панели.

В промышленных зданиях для стен горизонтальной разрезки в целях снижения их стоимости и металлоемкости используют ребристые панели с

предварительно напряженными обшивками, для которых применяют плоские листы из алюминиевых сплавов. Панели этой конструкции навешивают на колонны каркаса здания.

В состав безреберных панелей (панели типа «сэндвич») входят две обшивки из профилированного тонколистового металла и заключенный между ними утеплитель. В том случае, если между обшивками нет достаточной связи для совместной работы при изгибе всех слоев панели, на изгиб работают только обшивки и механические связи (в виде болтов, заклепок и др.), а утеплитель выполняет роль прокладки.

Промежуточное положение между панелями ребристыми каркасного типа и безреберными занимают панели с обрамлением, представляющим собой каркас по периметру панели. В таких панелях, как и в безреберных, утеплитель зажимается обшивками и склеивается с ними, а обшивки скрепляются также и с обрамлением, которое помимо этого используется для формообразования пенопласта при изготовлении панели и выполняет роль стыков панели.

Помимо трехслойных панелей в практике строительства находят применение и двухслойные, которые в ряде случаев оказываются экономически более выгодными. Так, на изготовление двухслойных панелей расходуется металла на 25 % меньше, чем на изготовление трехслойных.

По данным некоторых исследований, в двухслойных панелях воздействие температуры практически не вызывает дополнительных напряжений и деформаций, тогда как в трехслойных панелях перепад температур на поверхности обшивок в значительной мере влияет на несущую способность панели. Двухслойные стеновые панели на основе пенопластов имеют на внутренней поверхности декоративно-защитную облицовку из фольги, синтетической пленки, стеклоткани и др.

Данные конструкции стеновых ограждений могут применяться практически во всех климатических зонах страны. Так, металлические панели с утеплителем из пенопластов могут эксплуатироваться в неагрессивных и слабоагрессивных средах при температуре наружной поверхности панели $-65...+75^{\circ}\text{C}$, внутренней поверхности до $+30^{\circ}\text{C}$, относительной влажности воздуха в помещениях не более 60 %. В зданиях с сухим влажностным режимом (относительная влажность воздуха менее 50 %) данные ограждающие конструкции могут быть применены в условиях более низких температур наружного воздуха.

Ввиду сравнительно небольшой теплоустойчивости таких стеновых ограждений проводят проверку ее величины для районов со среднемесячной температурой июля $+20^{\circ}\text{C}$ и выше и при необходимости увеличивают толщину утеплителя, а также используют другие конструктивные решения. Рекомендуемая толщина утеплителя составляет 50, 60, 80 и 100 мм для

применения в районах со среднемесячной температурой июля не выше соответственно 20, 22, 25 и 28 °С.

В последнее время все более широкое применение в качестве наружных обшивок находят алюминиевые листы благодаря своей легкости, долговечности, хорошим архитектурно-эстетическим качествам. Данные конструкции стен обладают достаточно высокой водонепроницаемостью при соблюдении следующих условий: применение герметиков для уплотнения стыковых соединений, обязательное наличие дренажных отверстий для отвода влаги, хорошее качество сборки, исключая возможность деформации алюминиевых профилей. Результаты испытаний показали, что звукоизолирующая способность алюминиевых панелей (2...33 дБ) удовлетворяет звукоизоляционным требованиям.

Одним из путей улучшения эксплуатационных качеств стеновых алюминиевых панелей является разработка и широкое внедрение в строительство комбинированных профилей каркаса, позволяющих производить замену термовкладышей в процессе ремонта, так как используемый в настоящее время в качестве термовкладышей материал на пластмассовой основе имеет с алюминием разные сроки службы.

Горизонтальные стыки стеновых панелей устраивают обычно с помощью специальных нащельников и уплотняют герметиком. Для металлических панелей получили распространение несколько типов вертикальных стыков, для образования которых продольные кромки обшивок профилируют и отгибают.

Результаты проведенных рядом ведущих научно-исследовательских институтов теплотехнических испытаний панелей типа «сэндвич» и их стыков показали, что панели с металлическими обшивками толщиной 80...160 мм могут использоваться для наружного стенового ограждения производственных зданий при относительной влажности воздуха в помещениях до 60 % и расчетной температуре наружного воздуха до –40 °С. Для заполнения стыков применялись наиболее перспективные материалы: эластичный пенополиуретан, вспененный полиэтилен, пористая резина, пустотелые резиновые прокладки. Стыки из эластичного пенополиуретана плотностью 40...45 кг/м³ и герметика наиболее полно соответствуют теплотехническим требованиям, предъявляемым к стыкам. Пропитка эластичного пенополиуретана специальным составом на основе низкомолекулярного полиэтилена и кремнийорганических соединений способствует снижению его водопоглощения.

Стены с обшивками из асбестоцемента, фанеры и стеклопластика. По конструктивному решению панели из асбестоцементных обшивок могут быть трехслойными, трехслойными с несущими ребрами и трехслойными с обрамлением по контуру. Они применяются в основном в качестве наружных ограждений производственных зданий (рис. 5.3).

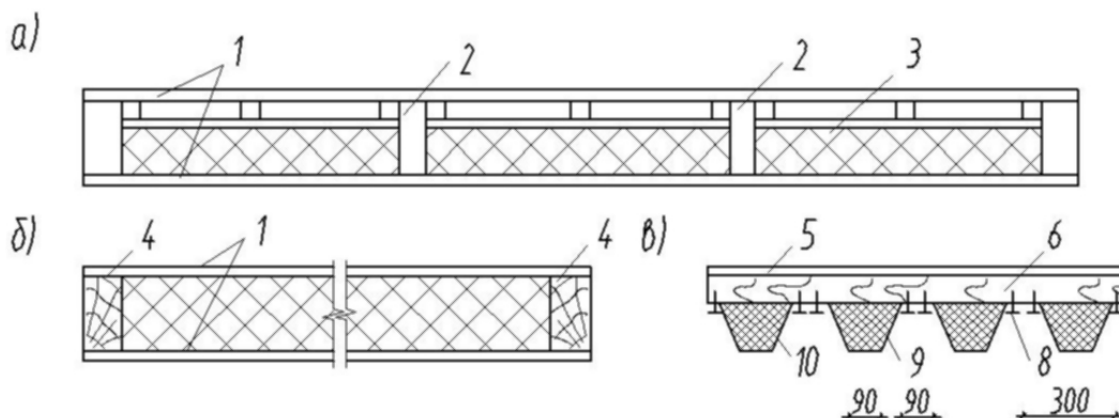


Рис. 5.3. Конструкция стеновых асбестоцементных панелей:
 1 – плоские обшивки; 2 – поперечные ребра; 3 – эффективный утеплитель;
 4 – деревянные ребра; 5 – водостойкая фанера; 6 – поперечное деревянное ребро

Широкое распространение получили стеновые трехслойные панели с утеплителем из пенопласта. Они допускаются к эксплуатации при относительной влажности воздуха помещений до 75 % и температуре на наружной поверхности панели от -50 ...до $+75$ °С, на внутренней – до $+30$ °С.

В качестве трудногорючего или негорючего утеплителя в панелях используют полужесткие или жесткие минераловатные плиты на синтетическом связующем, минераловатные прошивные маты, а также полужесткие или жесткие плиты из стеклянного штапельного волокна.

В панелях с утеплителем из минеральной ваты или стекло-волокна широко применяют пленочную и окрасочную пароизоляцию, которую располагают между внутренней обшивкой панели и утеплителем. Для окрасочной пароизоляции используют перхлорвиниловые и сополимерные эмали, а также краски акриловые и фасадные перхлорвиниловые. В панелях высшей категории качества утеплитель обертывают в полиэтиленовую пленку.

Многослойные панели на основе профилированной фанеры со средним слоем из фенольного пенопласта находят применение в отапливаемых зданиях с нормальным температурно-влажностным режимом или в таких же зданиях с химически агрессивной средой.

Панели с обшивками из стеклопластика имеют внутренний и наружный слой из полиэфирного стеклопластика толщиной 30...50 мм и утеплитель из пенопласта. Общая толщина панели 100 и 140 мм. В качестве внутреннего слоя может использоваться обшивка из другого материала.

В зарубежном строительстве преимущественное распространение получили бескаркасные панели из стеклопластика типа «сэндвич», устанавливаемые в навесных стенах между элементами фахверка, а также панели полной заводской готовности с объемной скорлупой и плитным или заливочным пенопластом. Панели крепят к несущим конструкциям здания

стальными резьбовыми элементами. Все стыковые соединения и примыкания уплотняют и герметизируют с помощью различных синтетических прокладок и мастик. Для общественных зданий предназначен второй тип панели в виде бескаркасной трехслойной конструкции, которая состоит из жесткой самонесущей стеклопластиковой оболочки, заполненной заливочным фенольным пенопластом.

Стены мобильных зданий и сооружений. Масштабы мобильности строительства обусловлены освоением новых и необжитых районов страны. Благодаря большей оборачиваемости мобильных объектов по сравнению с временными зданиями и сооружениями достигается высокий экономический эффект.

Здание контейнерного типа представляет собой металлический блок-контейнер в панельном исполнении. Стены и покрытие блока обычно имеют одинаковое конструктивное решение. Наружную обшивку панелей выполняют из плоского, профилированного или гофрированного формованного стального листа толщиной 0,7...2 мм, а также из гофрированного картона, защищенного тонким слоем стеклопластика. На стеклопластик наносят атмосферостойкое кремнийорганическое покрытие или водоизолирующую эмаль. Внутреннюю обшивку выполняют из твердых древесноволокнистых плит, фанеры толщиной 6...10 мм, пластика декоративного бумажно-слоистого или из другого аналогичного материала, не оказывающего вредного воздействия на человека.

Внутреннюю поверхность паропроницаемых обшивок, например из древесноволокнистых плит, примыкающую к утеплителю, покрывают пароизоляционным слоем из алюминиевой фольги, полиэтиленовой пленки или (для некоторых производственных и вспомогательных зданий) из рубероида и пергамина. Утеплителем служит обычно пенопласт полистирольный марки ПСБ-С. Иногда используют минераловатные плиты или другой теплоизоляционный материал с плотностью не более 175 кг/м³.

В зданиях сборно-разборного типа трехслойные панели могут быть выполнены из того же материала, что и в зданиях контейнерного типа. Особенно это характерно для перевозимых мобильных зданий в отличие от буксируемых, которые являются контейнерными зданиями. Основное требование к ограждающим конструкциям сборно-разборных зданий – это минимизация безвозвратных потерь при их использовании по назначению, демонтаже, передислокации, хранении и последующем монтаже, а также многократность повторяемости сборки, разборки и транспортировки.

Конструкции панелей этих зданий, как правило, имеют обрамление (бакелизированная фанера, алюминиевые уголки и др.). Стыки должны обладать большим сопротивлением воздухо-, паро- и водопрооницанию, а также теплопередаче в условиях низких и высоких температур, значительных ветровых нагрузок. С этой целью соединения панелей производят

стыками фланцевого типа, которые проектируют жесткими или подвижными. В жестких стыках соединение панелей выполняют болтами через фланцы, а их защиту от воздействия атмосферной влаги производят с помощью герметика, уложенного в алюминиевый нащельник. В подвижных стыках защитную функцию выполняет резиновый нащельник, надеваемый на фланец.

Экономическая эффективность легких конструкций стен. При проектировании ограждающих конструкций важное место отводится тем конструктивным решениям, которые предусматривают снижение металлоемкости, повышение степени заводской готовности, уменьшение трудоемкости возведения стен.

Наилучшие технико-экономические и теплотехнические показатели среди традиционных бетонных панелей имеют трехслойные панели на гибких связях. Эффективность этой конструкции может возрасти за счет повышения степени ее индустриальности (например, использование панелей со встроенными окнами). Устройство таких стен вызывает незначительное повышение их стоимости, но зато в ряде случаев имеет меньшую трудоемкость.

Основное преимущество стен из листовых обшивок и эффективного утеплителя состоит в их малой массе. Среди них трехслойные бескаркасные панели с алюминиевыми обшивками имеют минимальную массу, которая по сравнению, например, с бетонными панелями на гибких связях меньше в 27 раз. Повышение степени заводской готовности стен из листовых обшивок, как и бетонных стен, приводит к значительному снижению трудоемкости их возведения, хотя и небольшому удорожанию. Использование экструзионных асбестоцементных панелей по сравнению с металлическими панелями дает существенную экономию металла, но вызывает повышение трудозатрат примерно в 1,5 раза.

5.2. Конструкции светопрозрачных ограждений

Вопросы экономии энергетических ресурсов обуславливают преимущественное развитие исследований по повышению теплотехнических свойств светопрозрачных ограждений. Как часть наружного ограждения они обладают наименьшими сопротивлениями теплопередаче и воздухопроницанию.

При разработке объемно-планировочного решения здания определяют оптимальную площадь светопроемов, учитывая, что ее увеличение приводит к росту теплопотерь зимой и теплопоступлений летом, повышению эксплуатационных расходов на ограждающие конструкции, уменьшению энергетической нагрузки на систему искусственного освещения и сниже-

нию статической нагрузки на фундамент, достигаемому за счет уменьшения площади глухих участков ограждений.

Через поверхность окон в зимнее время уходит от 30 до 60 % всех теплотерь, приходящихся на наружное ограждение, а в летний период они могут служить причиной перегрева помещений. Поэтому светопрозрачные ограждения жилых зданий, строящихся южнее 57-й параллели, дополняются элементами солнцезащиты. С уменьшением площади окон в 2 раза экономия тепловой энергии для зданий различного назначения составляет 10 % и более. Дальнейшее сокращение площади окон не может дать ощутимой экономии тепловой энергии, так как одновременно увеличивается площадь глухих участков ограждающих конструкций, что также приводит к росту теплотерь, хотя и в меньшем объеме.

Таким образом, от конструктивного решения светопрозрачных ограждений зависят эксплуатационные расходы на отопление и вентиляцию здания. При их проектировании тщательно учитывают климатические факторы района строительства.

Поэтому в последнее время стали использоваться: многослойное пакетное остекление, эффективные тонкостенные холодноотянутые металлические профили с термовкладышами по сечению переплета, пластмассовые переплеты, полученные методом экструзии, комбинированные переплеты (деревореалюминиевые, деревопластмассовые, пластмассовые, усиленные металлическими стержнями).

Размеры и форма окон зависят от требуемого уровня освещенности помещений здания, его ориентации по сторонам горизонта, климатической зоны строительства, архитектурно-композиционного решения фасада, особенностей технологического (функционального) процесса в проектируемом здании. Оконные блоки с переплетами из древесины до недавнего времени широко применялись при строительстве всех видов зданий: жилых, общественных, промышленных, сельскохозяйственных. Это объясняется такими достоинствами дерева, как легкость, прочность, простота обработки, низкая теплопроводность.

Для гражданских зданий стандартными деревянными конструкциями считались окна с двойным остеклением в спаренных и в отдельных переплетах и с тройным остеклением.

Однако необходимость дальнейшего повышения теплозащитных свойств и световой активности окон привела к разработке новых, более эффективных конструкций в виде двух- или трехслойных стеклопакетов, имеющих соответственно два или три слоя стекла. Остекление стеклопакетами используется как в гражданских, так и в промышленных зданиях (рис. 5.4 и 5.5).

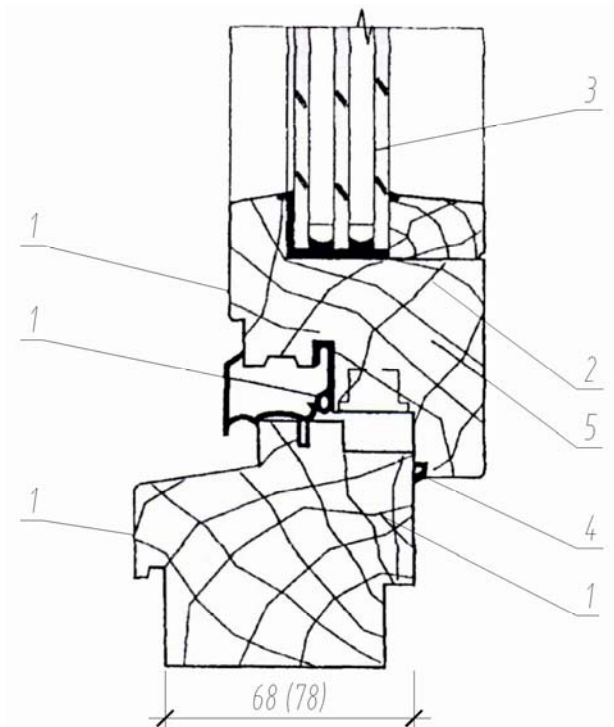


Рис. 5.4. Конструкция трехкамерного стеклопакета в деревянных переплетах
 1 – коробка; 2 – защитное покрытие; 3 – остекление;
 4 – уплотняющие прокладки; 5 – переплет

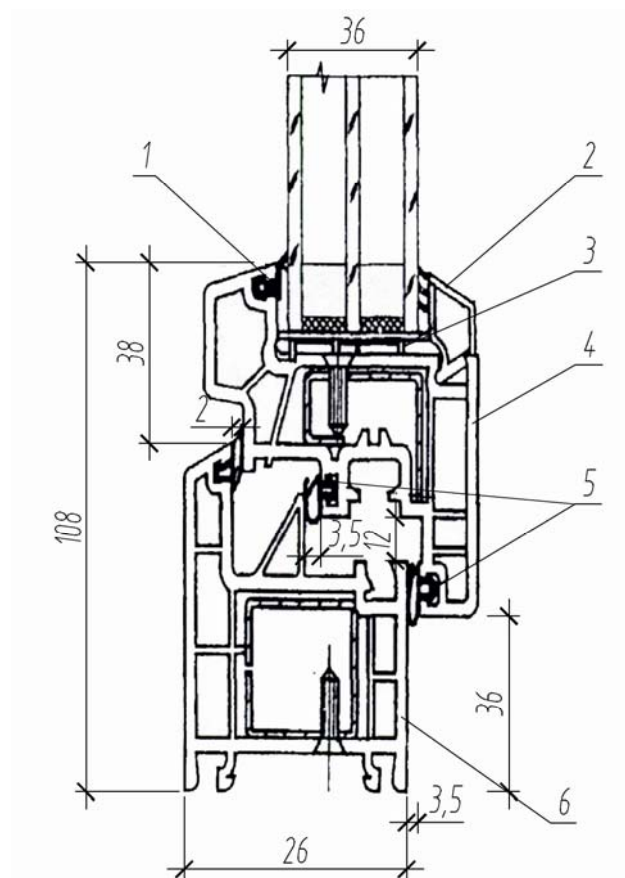


Рис. 5.5. Конструкция трехкамерного стеклопакета в пластмассовых переплетах
 1, 5, 7 – уплотняющие прокладки; 2 – штапик; 3 – фальцевый вкладыш;
 4 – переплет; 6 – коробка

Оконное заполнение из одинарных переплетов со стеклопакетами (по сравнению с отдельным остеклением) имеет определенные преимущества: сокращается расход материалов на изготовление переплетов на 35...50 %, снижается стоимость конструкции на 15...20 %, уменьшается загрязненность поверхности стекла. Применение стеклопакетов, особенно трехслойных, позволяет значительно улучшить теплотехнические качества конструкции окна. Кроме того, повышается несущая способность стекол в стеклопакетах за счет совместной работы.

Стеклопакеты изготавливают на заводах путем соединения по контуру двух или трех слоев стекла с образованием между ними замкнутых воздушных прослоек. Толщина воздушной прослойки принимается в пределах 15...20 мм, а толщина используемого в них оконного, витринного или солнцезащитного стекла – не менее 3 мм (для окон) и 5 мм (для зенитных фонарей). Для предотвращения температурных и усадочных деформаций элементов крепления стеклопакета его положение фиксируют прокладками, а между ними оставляют зазоры. Особое внимание при изготовлении и монтаже стеклопакетов уделяют герметичности воздушных прослоек и мест примыканий с переплетом. Для этого используют клеящие синтетические мастики, прокладки из морозостойкой резины и нетвердеющие мастики.

Особое внимание при выборе конструкции окна уделяют его теплозащитным качествам. Рекомендуемую величину сопротивления теплопередаче окна назначают в зависимости от вида здания, климатических условий строительства. На величину сопротивления теплопередаче светопроемов влияет конструкция оконного блока, число слоев остекления, герметичность межстекольной воздушной прослойки.

Надежная герметизация конструкции окна – важное условие улучшения его эксплуатационных качеств. Притворы окон уплотняют атмосферостойкими эластичными прокладками из пенорезины, пенополиуретана или прокладками из полшерстяного шнура. Для многослойного остекления лучше применять несколько слоев прокладок, а при заполнении им наружных притворов оставляют вентиляционные отверстия в верхней части для предотвращения образования конденсата в межстекольной прослойке. Расположение первой прокладки ближе к внутренней стороне оконного блока затрудняет попадание влажного воздуха в эту прослойку.

Совершенствование конструктивных решений *окон с металлическими переплетами* идет в направлении снижения металлоемкости, улучшения теплотехнических качеств, повышения степени заводской готовности.

Типовые серии окон со стальными переплетами включают конструкции окон с переплетами. Применение в современном промышленном строительстве нашли окна с переплетами из одинарных стальных труб, холодноформованного тонкостенного профиля и унифицированных холодно-

гнутых замкнутых профилей и спаренных прямоугольных стальных труб. Остекление крепится в переплетах с помощью резиновых профилей.

Сопротивление теплопередаче по сечению металлических профилей довольно низкое, и по этой причине на внутренней поверхности металлических переплетов, особенно одинарных, могут образоваться конденсат и наледь. Это снижает приведенное сопротивление теплопередаче данных конструкций окон и ограничивает область их применения.

Из традиционных конструкций окон наибольшее приведенное термическое сопротивление ($0,46 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$) имеют окна с тройным остеклением в отдельных переплетах. Однако применение окон с тройными отдельными переплетами нецелесообразно по экономическим соображениям, так как это увеличивает металлоемкость светопрозрачного ограждения. Более эффективный путь повышения теплозащитных качеств этой конструкции окна – использование стеклопакетов, в том числе в комбинации с одинарным остеклением, а также поиск конструктивных решений по повышению теплоизоляционных свойств металлических профилей переплетов.

Для разрыва «мостиков холода» в металлических переплетах их выполняют из составных профилей, разделенных вкладышем из мало-теплопроводного материала, чаще всего на полимерной основе. В практике проектирования используют в основном два конструктивных решения по разрыву «мостиков холода» в профилях из алюминиевых сплавов: теплоизоляционную полиуретановую массу заливают в надрезы цельного алюминиевого профиля или его состыковывают через термовкладыши в виде профильных прокладок из жесткого поливинилхлорида. Область применения переплетов с поливинилхлоридным вкладышем ограничивается районами с температурой наружного воздуха до -30°C .

Окна из алюминиевых переплетов остекляют чаще всего стеклопакетами (двух- и трехслойными), реже применяют трехслойное остекление из двухслойного стеклопакета и листового стекла. Примыкания остекления к переплету и притворы открывающихся фрамуг уплотняют профильными резиновыми прокладками, наглухо закрепляемыми в пазах переплетов.

6. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ОГРАЖДЕНИЙ

6.1. Наружные стены

Повышение термического сопротивления *однослойной (однородной) ограждающей конструкции* зависит от дальнейшего увеличения ее толщины, но это связано с большими единовременными затратами на изготовление конструкции и приводит к ее утяжелению.

Проектно-технологическая работа по созданию однослойных легкобетонных и ячеистобетонных стеновых конструкций совершенствуется на таких основных критериях качества бетона, как пониженная плотность и теплопроводность в сочетании с необходимыми прочностными свойствами. В настоящее время на отдельных технологических установках налажено изготовление ячеистых бетонов плотностью 300...400 кг/м³.

Средняя плотность легкого бетона однослойных стен в эксплуатируемых зданиях составляет в основном 1200 кг/м³, а в отдельных случаях она достигает 1400...1500 кг/м³, что значительно ухудшает технико-экономические показатели таких стен. Снижение плотности бетона в ограждающих конструкциях не только улучшает их теплозащитные качества, но и уменьшает расход материала на единицу объема конструкции. Подсчитано, что снижение плотности бетона при изготовлении панелей на 300 кг/м³ приводит к экономии материала в среднем в 1,4 раза.

С наибольшим эффектом исследования по улучшению теплозащитных качеств бетонных однослойных ограждений выполняются на стадиях проектно-технологической работы и производства. Результаты испытаний на этих стадиях показали высокие теплоизоляционные и достаточные физико-механические свойства неавтоклавных пенобетонов, разработанные в Пензенском ГУАС [66].

Перспективный метод повышения теплоизоляционных качеств легкобетонных ограждающих конструкций – использование, в состав которых входят пористые заполнители с аморфизированной структурой и вяжущие пониженной теплопроводности. Теплопроводность бетона с такими пористыми заполнителями можно уменьшить на 25...30 % по сравнению с бетонами на пористых заполнителях с кристаллической структурой. При замене цемента гипсом можно снизить теплопроводность бетона на 20 %.

Бетон с хорошими теплотехническими свойствами и с повышенной морозостойкостью удастся получить с помощью специальных добавок. При этом снижается себестоимость продукции на 20 % и сокращается расход цемента примерно на 100 кг в расчете на 1 м³ бетона.

В состав бетона вводят заполнители насыпной плотностью 250...300 кг/м³ или пористый песок с целью снижения плотности легкого бетона. Максимально возможное снижение плотности керамзитобетона до 900 кг/м³, ис-

пользуемого для изготовления панелей, достигается на основе вспученного перлитового песка.

Легкий бетон с низким водопоглощением, малой сорбционной способностью и повышенными теплоизоляционными качествами получают на основе существующей технологии по гидрофобизации вспученного перлитового песка кремнийорганическими соединениями.

Таким образом, теплофизические свойства однослойных легкобетонных ограждений можно повысить путем регулирования структуры и влажности пористого пространства бетона, рационального подбора зернового и фазового состава заполнителей.

В работе по совершенствованию теплозащитных свойств *многослойных бетонных стен* широко используют три направления:

1. Создание условий для вентилирования массива или поверхностных слоев ограждения.

2. Утилизация тепла внутренних источников и солнечной энергии с целью снижения общих и вентиляционных теплопотерь здания.

3. Использование отражающих пленок для уменьшения лучистой составляющей теплового потока.

При движении наружного воздуха через толщу ограждения может возникать так называемый экономайзерный эффект. Этот воздух согревается от тепла отопительной системы и солнечной радиации, а использованный теплый воздух на пути к наружной поверхности отдает свое тепло конструкции.

Движение свежего или использованного вентиляционного воздуха осуществляется как через толщу теплоизоляции, так и по вертикальным каналам и воздушным промежуткам между конструктивными слоями ограждения с выходом воздуха внутрь помещений и наружу. При движении воздуха через толщу ограждения на одной стороне теплоизоляционного слоя ограждения иногда создают избыточное давление с помощью вентиляторов, устанавливаемых в приточном вентиляционном блоке. Такие конструктивные решения ограждений были названы динамическими (динамической теплоизоляцией), когда к основному механизму теплопереноса добавляется теплоперенос, вызванный принудительным потоком воздуха через теплоизоляцию, движущегося с скоростью всего 1...5 м/ч. В этом случае изменение температуры по толщине однослойного ограждения имеет форму не прямой линии, как в традиционном ограждении, а выпуклой или вогнутой параболы. Путем изменения скорости движения воздуха в теплоизоляционном слое можно получать различные сопротивления теплопередаче и увеличить их таким образом на 30 %.

Недостаток такой конструкции покрытия заключается в повышенных эксплуатационных расходах на электроэнергию для обеспечения постоянной работы вентилятора, так как при его отключении начинается процесс образования конденсата и увлажнения теплоизоляционного слоя.

В отечественной практике проектирования и строительства применяются ограждающие конструкции с вентилируемым крупнопористым сло-

ем, с вентилируемой прослойкой, эффективным утеплителем и расположенными в нем вентиляционными каналами (рис. 6.1). Канал расположен в верхней потолочной зоне помещения; в него попадает теплый использованный воздух и движется по каналу в толще утеплителя к наружной поверхности стены.

Вентиляционные отверстия могут быть расположены в нижней части стены. В конструкциях с движением воздуха по направлению к внутренней поверхности наружный воздух поднимается по наружным воздушным каналам до верхнего междуэтажного перекрытия, а затем опускается вниз по внутреннему воздушному промежутку. Выход нагретого таким образом свежего воздуха предусмотрен из вентиляционного отверстия с регулируемой воздухоподачей.

Применение такого способа вентиляции позволяет экономить энергоресурсы, затрачиваемые на отопление и вентиляцию помещений здания, за счет использования трансмиссионного тепла и естественной подачи воздуха, а также за счет улучшения влажностного состояния стен.

Наружные ограждающие конструкции могут эксплуатироваться в условиях неблагоприятных воздействий внутренней воздушной среды (выделения большого количества тепла и влаги, кислотных газов, пыли, аэрозолей, загрязняющих веществ).

Для зданий с мокрым и влажными режимами или эксплуатируемых в условиях сильного перегрева от воздействия солнечной радиации воздушные прослойки выполняют функции осушения влажного материала, а также снижения температуры сильно нагретой поверхности. С этой целью воздушную прослойку обычно располагают у наружной поверхности ограждения путем установки на отnose экрана. В последнем случае утеплитель должен иметь крупнопористую структуру.

В южных районах страны воздействие солнечной радиации может вызвать перегрев наружных ограждений и значительное повышение температуры воздуха помещений. В некоторых местностях влажной зоны комплексное воздействие сильного ветра и дождя является причиной переувлажнения материала стен. Известно, например, что при скорости ветра 7...9 м/с на стену выпадает в 1,5...2 раза большее количество осадков, чем на горизонтальную поверхность. Со стороны помещения комплексное воздействие повышенных температур и влажности воздуха способствует сверхсорбционному увлажнению материала наружной конструкции, что приводит к значительным теплотерям здания, ухудшению микроклимата внутренней воздушной среды, потере прочности и снижению долговечности этой конструкции.

При высокой влажности материала в конструкциях трехслойных панелей может наблюдаться коррозия металлической соединительной арматуры.

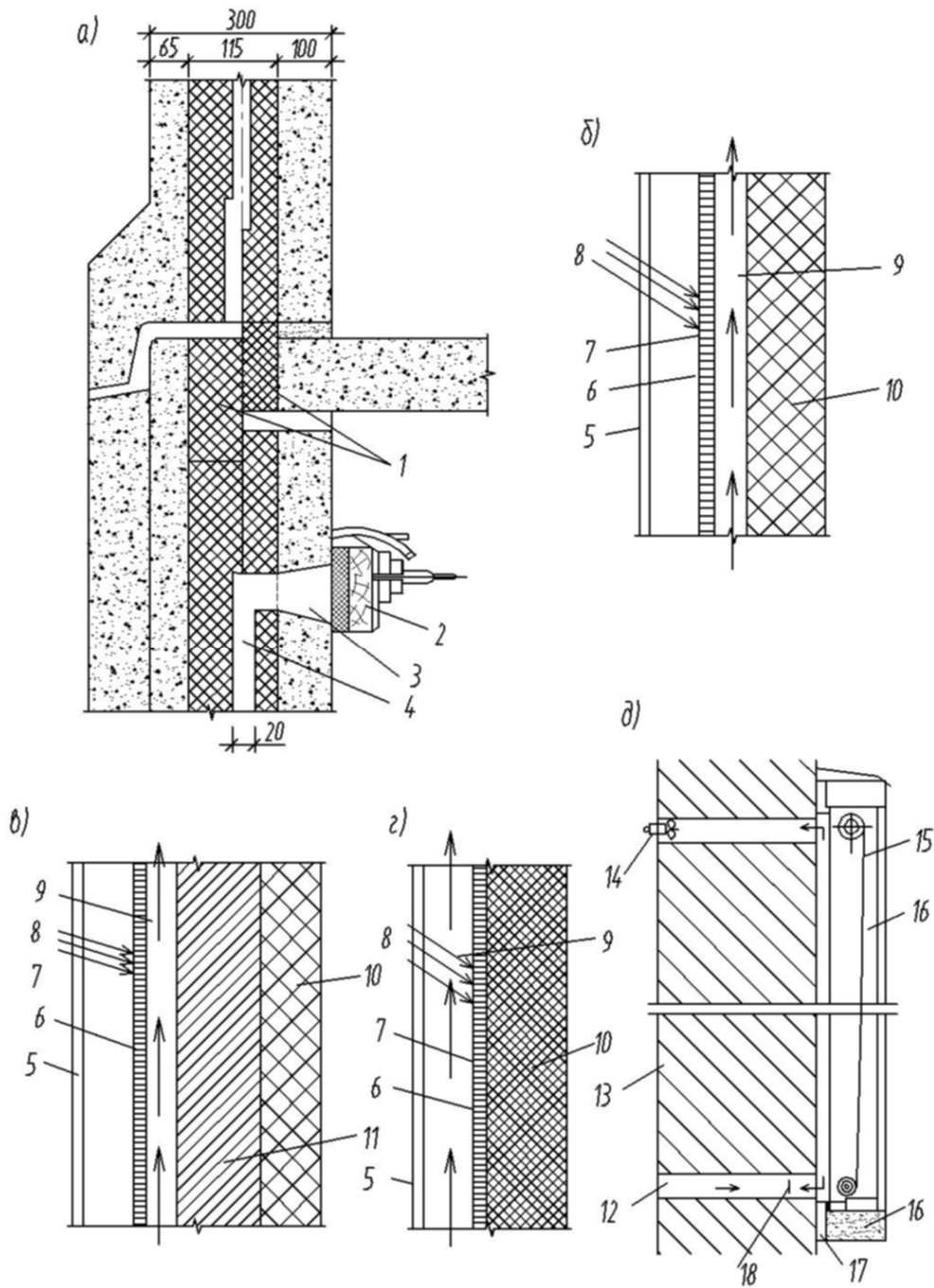


Рис. 6.1. Конструктивные решения энергосберегающих наружных стен:
 а – конструкция трехслойной керамзитобетонной вентилируемой панели;
 б, в, г, д – вентилируемые наружные стены с пассивным использованием солнечной энергии: б – вариант однослойной стены с наружной воздушной прослойкой; в – вариант двухслойной стены с воздушной прослойкой; г – вариант однослойной стены с наружной воздушной прослойкой; 1 – теплоизоляционный вкладыш; 2 – клапан; 3 – воздуховыводящее отверстие; 4 – вентиляционный канал; 5 – стекло; 6 – селективное покрытие; 7 – панель; 8 – направление солнечных лучей; 9 – вентилируемая воздушная прослойка; 10 – теплоизоляция; 11 – кирпичная кладка; 12 – канал; 13 – стена; 14 – вентилятор; 15 – синтетическая пленка; 16 – светопрозрачная панель; 17 – закрываемая вентиляционная щель; 18 – клапан

В зданиях с мокрым и влажным режимами эксплуатации предохранить наружные ограждения от избыточного увлажнения, потери теплоизоляционных качеств, снижения долговечности с помощью различного вида пароизоляционных и защитных слоев очень трудно.

В таких условиях эксплуатации долговременное сохранение надежных теплозащитных свойств обеспечивает конструкция вентилируемой стены с экраном на отnose. В качестве экрана используют металлические профилированные листы, виниловый сайдинг, стены тонкостенные, бетонные плиты. Такое конструктивное решение стены с расположением воздушной прослойки у наружной поверхности обеспечивает надежную ее эксплуатацию не только на стадии проектирования, но и при реконструкции в процессе эксплуатации. В последнем случае воздушную прослойку образуют между экраном и дополнительным слоем теплоизоляции из жестких или полужестких минераловатных плит, матов из стеклянного или штапельного волокна.

Основная конструкция стены может состоять из одного или нескольких слоев, влажность которых снижается под влиянием движения воздуха в прослойке.

Проектное решение вентилируемых стен с экранами для нового строительства предусматривает два основных слоя: несущую бетонную армированную панель и слой эффективной теплоизоляции, у наружной поверхности которого располагается воздушная прослойка.

Конструктивное решение вентилируемой стены должно обеспечивать вход и выпуск воздуха по всей ее высоте. Движение воздушной струи начинается при входе воздуха в сплошную вентилируемую прослойку или в гофры листа экрана, а выпуск можно организовать с помощью нащельника.

В условиях влажного климата и сильных ветров такое конструктивное решение наружной стены имеет следующие преимущества:

1. Повышаются теплоизоляционные качества бетона вследствие осушающего действия вентилируемой воздушной прослойки между экраном и основной стеной, а также отсутствия защитно-декоративного слоя, имеющего обычно более высокие показатели плотности и сопротивления паропроницанию по сравнению с материалом панели.

2. Упрощается проведение сложных работ по герметизации устьев стыков мастиками и уплотняющими прокладками, по устройству наружного защитно-декоративного слоя, что снижает стоимость наружных стен и трудоемкость их возведения.

3. Исключаются случаи появления протечек через вертикальные и горизонтальные стыки, а также пленочной воды на поверхности основной панели.

4. Повышается несущая способность стеновой панели.

5. Предоставляется возможность использовать для основной панели бетон более пористой структуры, так как при наличии экрана нет необходимости обеспечивать водонепроницаемость основного материала конструкции и применять бетон слитной структуры.

Учитывая дефицит керамзитового гравия низкой плотности, конструкцию наружной стены с вентиляцией материала непосредственно через крупнопористую структуру теплоизоляционного слоя в практике проектирования используют редко. Однако имеющийся опыт эксплуатации стен с вентилируемым крупнопористым слоем показывает надежность их работы в условиях высокой влажности внутренней воздушной среды.

Крупнопористый наполнитель плотностью $350\text{--}400\text{ кг/м}^3$ с размерами $10\text{--}20\text{ мм}$ имеет небольшое сопротивление воздухопроницанию, и его можно использовать для создания эффекта вентиляции воздуха. При этом удаление избыточной влаги в поровом пространстве утеплителя происходит через отверстия в горизонтальных швах или через полости в верхней части стены (рис. 6.2, в). Устройство каналов в однослойной панели из ячеистого бетона позволяет существенно снизить влагосодержание материала конструкции (рис. 6.2, а, б) [67].

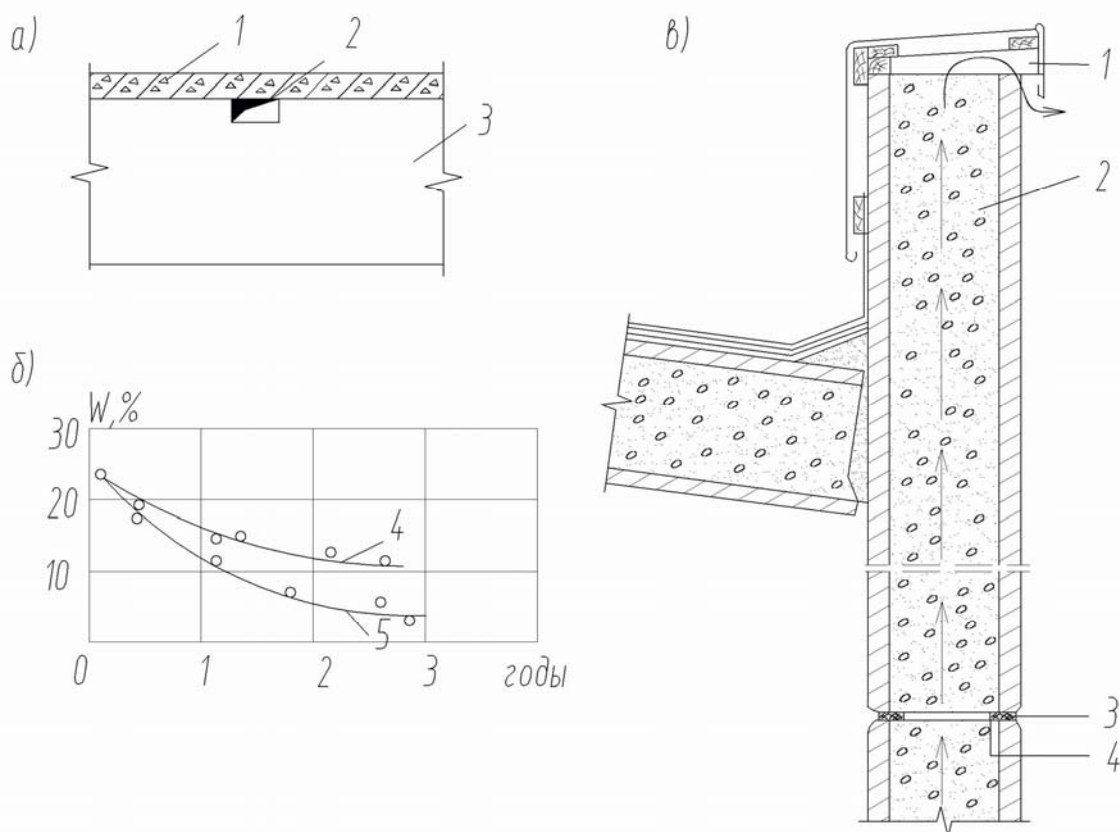


Рис. 6.2. Конструкции вентилируемых стен:

а – схема стены с вентиляционными каналами;

б – график изменения средней объемной влажности;

1 – тяжелый бетон; 2 – вертикальный канал $20 \times 30\text{ см}$ с шагом $15\text{--}30\text{ см}$;

3 – газобетон плотностью 600 кг/м^3 ;

4 – стена без каналов; 5 – стена с каналами;

в – конструкция стены из трехслойных железобетонных панелей на гибких связях с вентилируемым средним слоем (Финляндия):

1 – деревянный брус $40 \times 55\text{ мм}$ с шагом 800 мм ;

2 – вентилируемый средний слой из керамзитобетона плотностью 400 кг/м^3 ;

3 – мастика; 4 – полоса пенопласта

Область применения рассмотренных вариантов вентилируемых стен зависит от микроклимата помещений, климатических характеристик района строительства, агрессивных воздействий окружающей среды, возможностей строительной индустрии, архитектурно-композиционного решения фасада.

При проектировании наружных ограждений в последние годы получила развитие система пассивного использования солнечной энергии (СПИСЭ), основанная на сочетании в конструкции слоя с большой теплоаккумулирующей способностью и теплоизоляционного светопроницаемого слоя. В процессе инсоляции светопроницаемый слой пропускает к внутреннему слою солнечную радиацию и препятствует благодаря тепличному эффекту передаче тепла в обратном направлении путем теплового излучения, теплопроводности и конвекции с поверхности теплоаккумулирующего слоя. Упомянутая система СПИСЭ – одно из весьма перспективных направлений в строительстве, органически объединяющее архитектуру и энергетику. В этой системе утилизируется как прямая, так и рассеянная солнечная радиация, которая для многих регионов может составлять до 50 % суммарного прихода солнечной энергии за время отопительного периода.

Общими для любого варианта наружных ограждений с использованием СПИСЭ являются слой из светопроницаемой оболочки, например из листового стекла, и воздушный промежуток, примыкающий либо разу к внутреннему слою, либо к слою из светопроницаемого теплоизоляционного материала. Поверхность внутреннего теплоаккумулирующего слоя может быть окрашена в черный цвет или иметь селективное покрытие, поглощающее солнечную радиацию (рис. 6.3, А).

В России накоплен небольшой опыт проектирования и эксплуатации СПИСЭ, в отличие от развитых зарубежных стран (США, Дания, Франция и др.), где используются как простые, так и более сложные комбинированные системы обычно в сочетании с устроенными в кровле плоскими коллекторами. На эффективность теплоизоляционной защиты этого конструктивного решения влияют различные факторы: климатический район строительства, широта местности, ориентация здания, физические характеристики материала слоев (коэффициент светопропускания теплоизоляционного слоя, его толщина, теплоаккумулирующая способность внутреннего слоя).

К недостаткам данной конструкции стены относятся:

- возможность наступления перегрева помещений в летний период эксплуатации здания в процессе интенсивной солнечной радиации;
- возникновение температурных напряжений и деформаций в светопроницаемом теплоизоляционном слое в условиях высоких температур наружного воздуха.

Вышеперечисленные недостатки можно предотвратить путем использования вентилируемых воздушных прослоек в конструкции ограждения, солнцезащитных устройств и других архитектурно-строительных мероприятий по борьбе с перегревом наружной ограждающей конструкции.

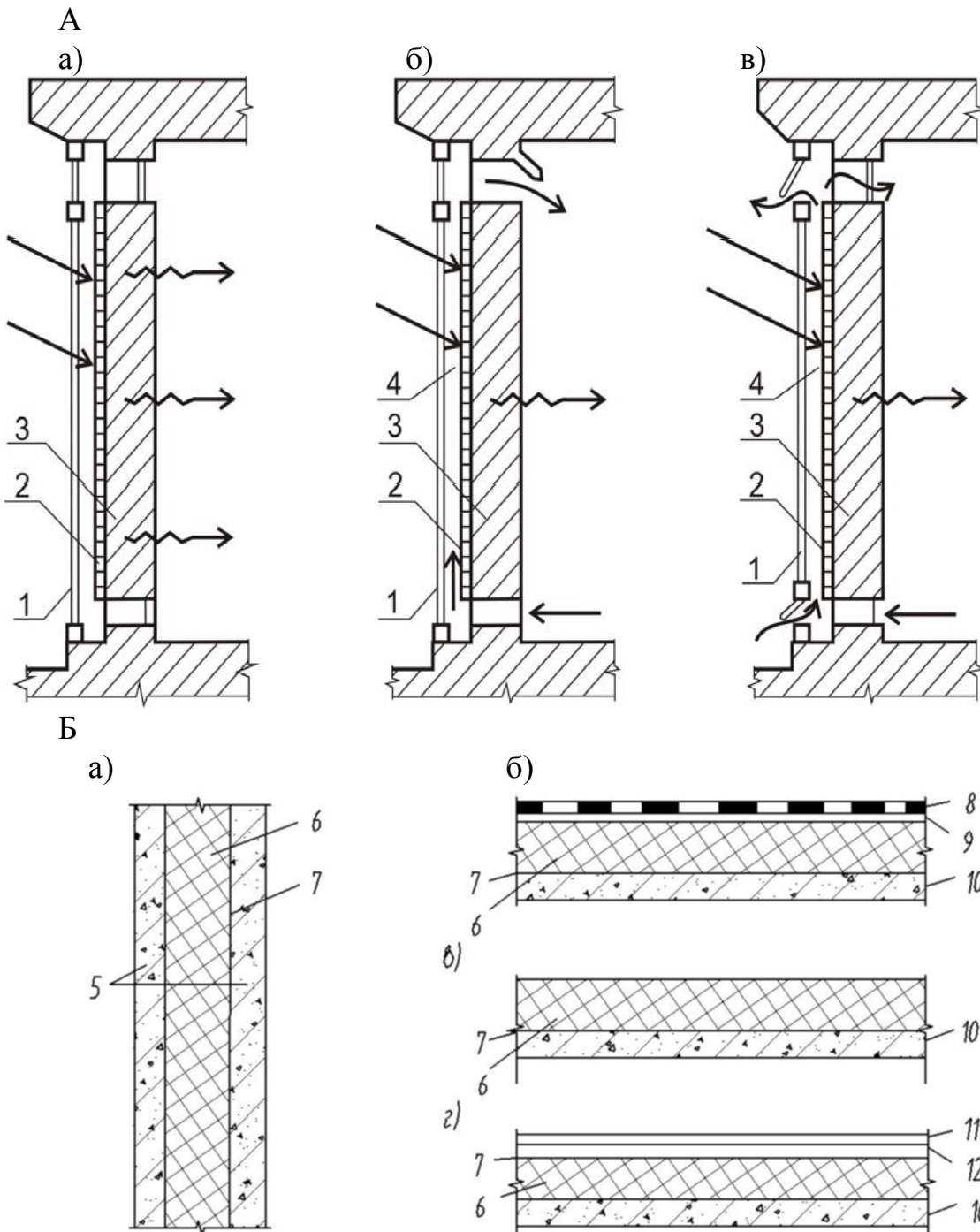


Рис. 6.3. Конструкции наружных ограждений с повышенными теплозащитными качествами:

- А. Конструкция массивной наружной стены (по Ф.Тромбу):**
 а – в неконвективном режиме функционирования; б, в – в конвективном режиме функционирования; 1 – стекло; 2 – зачерненная поверхность; 3 – массивная стена; 4 – вентилируемая воздушная прослойка;
- Б. Наружные ограждающие конструкции с экранированием теплоизоляции теплоотражающей пленкой в отсутствие воздушной прослойки:**
 а – наружная стена; б – покрытие; в – чердачное перекрытие;
 г – перекрытие над холодными подпольями, проездами; 5 – бетонные слои панели; 6 – теплоизоляция; 7 – теплоотражающая пленка, выполняющая функцию теплоотражающего экрана и пароизоляции; 8 – кровельное покрытие; 9 – цементно-песчаная стяжка; 10 – несущая плита; 11 – покрытие пола; 12 – жесткий подстилающий слой

Энергосберегающий эффект может обеспечить использование в многослойных наружных стеновых панелях отражающих пленок, например алюминиевой фольги, для уменьшения лучистой составляющей теплового потока. Размещение такой пленки на одной или на обеих сторонах воздушной прослойки позволяет значительно (до двух раз) увеличить ее термическое сопротивление (рис.6.3,Б). Поскольку в пористых строительных материалах перенос тепла осуществляется путем теплопроводности, конвекции и излучения, то отражающая пленка может использоваться и в ограждающей конструкции, не имеющей воздушной прослойки. В слое утеплителя из высокопористого материала перенос тепла излучением может быть значительным. Для уменьшения переноса тепла излучением теплоизоляционный слой экранируется пленкой с низкой степенью черноты поверхности.

Расчеты теплопроводности трехслойной стеновой панели в виде двух железобетонных стенок толщиной по 0,04 м и слоя легкого бетона плотностью 450...860 кг/м³ показали, что использование металлизированной пленки позволило снизить величину коэффициента теплопроводности материала утеплителя на 5,5...25 %, в зависимости от его плотности [68].

Исследования по влиянию на теплопроводность пористых материалов их экранирования пленкой со степенью черноты 0,25 [69] показали существенное снижение коэффициента теплопроводности ряда использованных материалов. Например, оно составило 12,3 % для керамзитобетона плотностью 1300 кг/м³ и 14,5 % для арболита плотностью 700 кг/м³.

Энергосберегающим эффектом обладают и горизонтальные наружные ограждения (покрытия, чердачные перекрытия, перекрытия над подвалами, подпольями и проездами), содержащие в своем составе теплоотражающие пленки. В таких конструкциях можно не предусматривать пароизоляцию, так как металлизированная пленка обладает высоким сопротивлением паропроницанию.

Многие конструкции из небетонных материалов и дерева отличаются небольшой *теплоустойчивостью* и являются причиной больших колебаний температуры внутреннего воздуха, что ухудшает микроклимат жилых помещений. Такие стены с ориентацией на солнечные стороны горизонта могут вызвать перегрев внутренней воздушной среды в летнее время, а зимой – переохлаждение помещений при аварийных отключениях центрального отопления.

Теплоустойчивость ограждения можно повысить следующими конструктивными изменениями:

- повысить его термическое сопротивление за счет уменьшения коэффициента теплопроводности материала или, в крайнем случае, путем увеличения толщины конструкции;
- использовать материал с большим значением коэффициента теплоусвоения;
- увеличить количество слоев конструкции.

Как известно, легчайшие ограждения при малой толщине имеют не меньшее, чем у массивных конструкций, термическое сопротивление благодаря применению эффективных утеплителей, обладающих низкой теплопроводностью. В конструкции наружного ограждения целесообразно предусмотреть другие слои из материалов с возможно большим коэффициентом теплоусвоения.

Повышение теплоустойчивости ограждающих конструкций могут обеспечить и другие конструктивные мероприятия, в том числе за счет уменьшения воздухопроницаемости конструкции, регулирования влажностного режима ее материала, а также мероприятия, способствующие снижению величины затухания амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждении:

1. Устройство в конструкции ограждения замкнутой или вентилируемой воздушной прослойки.

2. Использование в замкнутой воздушной прослойке отражающих пленок.

3. Тщательная герметизация стыковых соединений, уменьшающая неконтролируемую вентиляцию через стыки.

4. Установка наружного экрана с вентилируемой воздушной прослойкой.

5. Расположение в двухслойной конструкции более теплоустойчивого материала изнутри, что способствует увеличению величины затухания амплитуды колебаний температуры наружного воздуха в ограждении.

Устройство вентилируемых воздушных прослоек под экраном у наружной поверхности ограждения позволяет удалять из него избыточную влагу и обеспечивает сохранение его теплоизоляционных свойств. Это конструктивное мероприятие способствует как повышению сроков службы ограждающей конструкции, так и снижению теплотерь здания.

Увеличение толщины утеплителя повышает теплоустойчивость ограждения и снижает амплитуду колебания температуры внутреннего воздуха.

При разработке конструкции наружного ограждения, в том числе его светопрозрачных участков, энергоэффективного здания необходимо прежде всего уяснить, до каких пределов целесообразно увеличить уровень теплоизоляции ограждающих конструкций. Для наружного ограждения из трехслойных бетонных панелей с эффективным утеплителем увеличение термического сопротивления R_0 с 2 до 4 $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ позволяет уменьшить теплотери через него более чем на 40 %. Дальнейшее увеличение R_0 малоэффективно, так как, например, его возрастание еще на 2 $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ дает уменьшение теплотерь только на 16 %, но при этом толщина ограждения еще более возрастает. На величину теплового потока, проходящего через конструкцию, влияет также герметичность стыковых соединений, примыканий оконных и дверных проемов, которая мало зависит от термического сопротивления ограждения.

6.2. Конструктивные решения светопрозрачных ограждений с улучшенными теплозащитными и светотехническими показателями

При проектировании светопрозрачных ограждений учитывают особенности передачи тепла и света через стекло и межстекольное пространство. При этом оптимальная площадь оконных проемов должна удовлетворять требованиям естественной освещенности помещений и минимизации теплопотерь. Увеличение площади светопроемов приводит к росту теплопотерь зимой и теплопоступлений летом, повышению эксплуатационных расходов на ограждающие конструкции, уменьшению энергетической нагрузки на систему искусственного освещения и снижению статической нагрузки на фундамент, достигаемому за счет уменьшения площади глухих участков ограждений.

С уменьшением площади окон в 2 раза экономия тепловой энергии для зданий различного назначения составляет 10 % и более. Дальнейшее сокращение площади окон не может дать ощутимой экономии тепловой энергии, так как одновременно увеличивается площадь глухих участков ограждающих конструкций, что также приводит к росту теплопотерь, хотя и в меньшем объеме.

Теплозащитные качества светопрозрачного ограждения зависят от условий теплообмена у наружной и внутренней поверхностей остекления, а также в межстекольном пространстве; от особенностей теплопередачи через переплеты и узлы сопряжений со стенами. На процесс теплопередачи влияет инфильтрация холодного воздуха через зазоры и неплотности в конструкции окон, увеличивающая теплопотери здания.

Передача тепла через твердые элементы окон, витражей, фонарей (стекла, переплет, коробка) осуществляется теплопроводностью, у внутренних поверхностей остекления – конвекцией и излучением, а в межстекольном пространстве – либо всеми тремя видами теплообмена, либо двумя, но с обязательным участием излучения. В небольшом по ширине межстекольном пространстве конвекция воздуха может полностью отсутствовать при определенной разности температур на поверхностях стекла.

Термическое сопротивление однослойного прозрачного ограждения в основном зависит от условий теплообмена приграничных к стеклу слоев воздуха, определяемых коэффициентами теплообмена, тогда как термическое сопротивление воздушной прослойки в окнах с двухслойным остеклением составляет до 60 % общего сопротивления теплопередаче конструкции окна, а с трехслойным остеклением – еще больше.

Таким образом, величина теплового потока через прозрачные поверхности многослойного светопрозрачного ограждения зависит в основном от

условий передачи тепла двумя видами его переноса – конвекцией и излучением, а не от условий теплопроводности.

При оценке теплозащитных характеристик окон следует учитывать:

- коэффициент теплоотдачи при излучении $\alpha_{\text{л}}$ зависит от абсолютных значений температур, а коэффициент теплоотдачи при конвекции $\alpha_{\text{к}}$ – от разности температур (рис. 6.4, а); величина $\alpha_{\text{л}}$ уменьшается с понижением абсолютных значений температур. В связи с этим воздушная прослойка, расположенная с наружной стороны многослойного светопрозрачного ограждения, в которой наблюдаются меньшие абсолютные значения температур поверхностей, обладает более высокими теплоизоляционными свойствами, чем прослойка со стороны внутренней поверхности;

- сопротивление теплопередаче остекления зависит от степени черноты поверхности стекла (рис. 6,4, б).

Остальные непрозрачные элементы оконного заполнения выполняют из малотеплопроводных материалов, или в профилях металлических переплетов устраивают термовкладыши, так как здесь основную роль при передаче тепла играет теплопроводность.

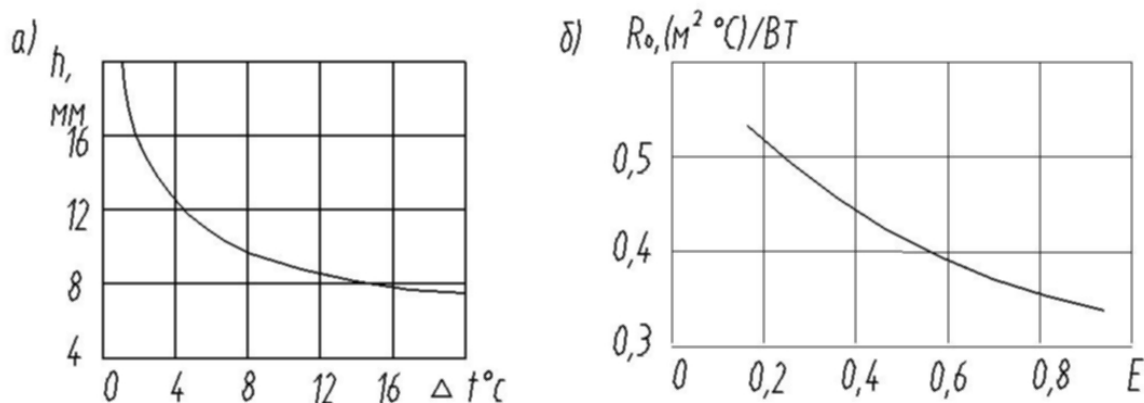


Рис. 6.4. Факторы, влияющие на условия конвекции в воздушной прослойке и на термосопротивление остекления:

а – предельные значения ширины воздушной прослойки, при которых в ней отсутствует конвекция; б – зависимость сопротивления теплопередаче остекления от степени черноты поверхности стекла

В последние годы активно ведутся конструкторские работы по созданию теплозащитных светопрозрачных ограждений с применением специальных стекол и пленок, обладающих теплопоглощающими или теплоотражающими свойствами. Энергосберегающий эффект их применения состоит в том, что, уменьшая прямую и рассеянную солнечную радиацию, они способствуют экономии энергии на отопление здания. Стекла, окрашенные по массе, относятся к теплопоглощающим и имеют разный химический состав. Стекла с пленочными покрытиями могут быть как теплоотражающими, так и теплопоглощающими. Пленочное покрытие на по-

верхности обычного стекла состоит из окислов металла: олова, железа, серебра, никеля, хрома, титана – или может быть составным из металлического слоя и различных полупроводников.

Теплопоглощающее стекло под воздействием солнечной радиации сильно нагревается и тепло поступает в помещение в длинноволновом спектре волн. По данным теплотехнических измерений, уменьшение теплоступлений в помещение через двойное остекление с наружным теплопоглощающим стеклом по сравнению с обычным составляет 10...20 %. Повысить эффективность применения теплопоглощающих стекол можно с помощью конструктивных мероприятий по устройству вентиляции в межстекольном пространстве и по восприятию температурных деформаций элементов при их нагреве.

Теплоотражающее остекление позволяет, особенно в конструкциях стеклопакетов, не только снизить теплоступления в помещения, но и уменьшить потери тепла в холодный период эксплуатации. За счет низкого коэффициента светопропускания (0,25...0,6) теплоотражающие стекла значительно увеличивают отражение солнечных лучей. Существенно изменяют характеристики стекла при его облучении солнечной радиацией фотохромные и электрохромные покрытия. Причем последние и некоторые другие покрытия можно использовать для создания энергоэффективного окна, так как они способны:

- изменять свою прозрачность в зависимости от подаваемого на него электрического потенциала, количества падающего света и тепла;
- регулировать количество поступающего в здание тепла и света;
- влиять на теплопотери окна;
- уменьшать расходы электроэнергии на кондиционирование до 85 %.

Расчеты показывают, что термическое сопротивление оконных блоков, имеющих один слой обычного и один слой специального стекла, в 1,2...1,45 раза больше, по сравнению с оконными блоками с двойным обычным стеклом.

Однако повышение сопротивления теплопередаче в окнах со стеклом, имеющим теплоотражающее покрытие, не всегда приводит к сокращению энергозатрат, так как поверхностное покрытие снижает светопрозрачность.

Более эффективными теплозащитными свойствами обладают тонкие полимерные металлизированные пленки, в отличие от вышеупомянутых покрытий, имеющих значительную стоимость и весьма сложную технологию нанесения. Они представляют собой пластиковую подложку, например, из полиэтилентерефталата, на которую произведено напыление металлов и их окислов. Отличительными характеристиками этих пленок являются высокая прочность на разрыв (150 МПа), низкий коэффициент светопропускания, хорошая адгезия подложки и металлического покрытия. Недостаток данных пленок – непрозрачность в ультрафиолетовой области

солнечного спектра, что ограничивает их постоянное применение в жилых и ряде общественных зданий.

В проектной и строительной практике существует два варианта применения металлизированных пленок в конструкции окна:

1. Пленку наклеивают непосредственно на поверхность внутреннего ряда остекления со стороны воздушной прослойки. Для наклейки на стекло допускается только такая металлизированная пленка, которая имеет достаточно высокий коэффициент светопропускания.

2. Пленку применяют в качестве стационарного светозащитного устройства в виде шторы, расположенной в межстекольном пространстве.

Применение пленки-шторы с низкой степенью черноты поверхности позволит:

– в конструкции окна с двойным остеклением увеличить сопротивление теплопередаче примерно в 1,5 раза за счет снижения лучистой составляющей переноса тепла и разделения межстекольного пространства на две самостоятельные воздушные прослойки;

– в конструкции окна из деревянных переплетов и с двухслойным остеклением сэкономить за один зимний период 0,0147 Гкал/м² тепловой энергии на 1 м² общей площади здания. По уровню теплозащиты такая конструкция светопроема не уступает тройному остеклению в деревянных раздельно-спаренных переплетах.

Свойство светоотражающих пленок и специального стекла уменьшать лучистую составляющую теплообмена используется для повышения тепловой эффективности светопрозрачных ограждений и в холодный, и в теплый периоды года. Расположение такой пленки или стекла с наружной стороны оконного блока позволяет уменьшить количество поступающей в помещение солнечной радиации в летнее время, а с внутренней стороны – снизить теплопотери зимой.

Возможности отражающих покрытий для солнцезащиты и дополнительного естественного освещения наиболее эффективно используются в конструкциях так называемых световых полок, разработанных за рубежом (рис. 6.5, А). Поверхности полок, устанавливаемых в верхней части светового проема, имеют зеркально и диффузно отражающие покрытия. При оптимальных выносе и угле наклона световых полок достигается повышение уровня освещения в помещениях на 20...40 %.

Два эффективных солнцезащитных устройства на светопроемах с использованием отражающих покрытий разработаны НИИ строительной физики. Одно из них представляет собой жалюзи с экранирующими элементами из металлизированной пленки. Другое – два листа с полосчатой металлизацией, которые в рабочем положении образуют «гармошку», способную преломлять прямой солнечный свет под разными углами, или плоскую светопрозрачную конструкцию с горизонтальными воздушными полостями (рис. 6.5, Б).

Эти устройства обеспечивают коэффициент светопропускания окна светопроемов в пределах 0,05...0,75 и снижение теплопотерь помещения на 20...35 %.

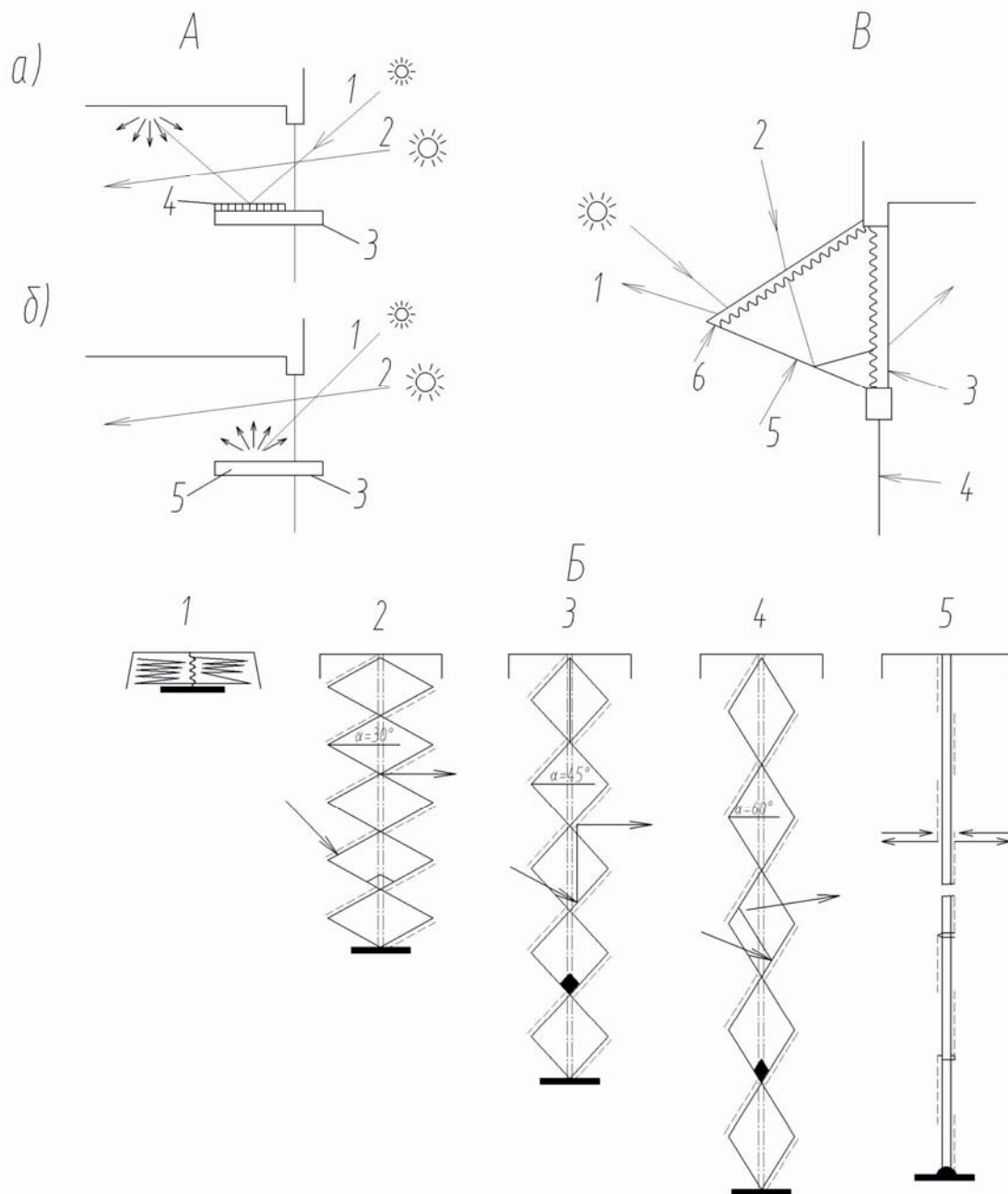


Рис. 6.5. Новые конструктивные решения светопрозрачных ограждений:
 А – световые полки в конструкции оконного проема: а – с зеркальным покрытием; б – с диффузным покрытием; 1 – высокие лучи солнца; 2 – низкие лучи солнца; 3 – световая полка; 4 – зеркальное покрытие; 5 – диффузное покрытие;
 Б – солнцезащитное устройство – гармошка: 1 – в сложенном положении; 2,3,4 – в рабочем положении; 5 – в положении светозащиты; В – солнцезащитная призматическая панель: 1 – отраженный прямой солнечный свет; 2 – рассеянный свет; 3 – вертикальная призматическая панель; 4 – остекление светопроема; 5 – отражатель; 6 – наклонная призматическая панель

Таким образом, специальные конструктивные элементы в светопрозрачных ограждениях могут выполнять одновременно две функции: тепловой защиты помещений в зимнее период и солнцезащиты в летнее время. Новейшие солнцезащитные и теплозащитные устройства постоянно конструктивно совершенствуются; они многофункциональны по применению, обладают высокими свето- и теплотехническими качествами, значительной энергоэффективностью, большими возможностями по регулированию микроклимата и световой среды помещений.

Интенсивные исследования проводятся по улучшению свойств стеклопакетов. В основном эти исследования основываются на использовании различных малотеплопроводных газов в межстекольном пространстве с обычными и специальными стеклами, в котором таким образом изменяются условия лучистого теплообмена.

Нанесение селективного покрытия на поверхность такого стеклопакета также меняет его свойства. Лабораторные исследования двух- и трехслойного стеклопакета, заполненного различными газами, с теплоотражающим покрытием и без него, нанесенным на наружную поверхность внутреннего стекла, были проведены в Швеции [70] (табл. 6.1).

Т а б л и ц а 6.1

Сопротивление теплопередаче двухслойного стеклопакета с воздушной прослойкой 12 мм и толщиной стекла 4 мм

Вариант заполнения стеклопакета	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	$R_{в.п.}, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	$R_{ост.}, \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Воздух	22,4	0,148	0,358
То же	47,0	0,158	0,368
Гексафторид	22,1	0,146	0,356
То же	46,9	0,144	0,354
Аргон	22,1	0,174	0,384
То же	47,1	0,187	0,397
Воздух и теплоотражающее покрытие	22,2	0,268	0,478
То же	47,1	0,262	0,471
Аргон и то же покрытие	22,2	0,368	0,578
То же	47,2	0,346	0,556

П р и м е ч а н и е . $\Delta t, ^\circ\text{C}$, – разность температур около теплой и холодной поверхностей окна; $R_{в.п.}$ и $R_{ост.}$ – сопротивления теплопередаче соответственно воздушной прослойки и остекленной части окна.

Из табл. 6.1 видно, что при использовании теплоотражающего покрытия сопротивление теплопередаче прослойки возрастает примерно на 0,12; при замене воздуха на аргон – на 0,02, а при их одновременном применении – на 0,22 $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Таким образом, опубликованные результаты исследований показывают, что использование в двухслойном стеклопакете теплоотражающего покрытия и газа аргона вместо воздуха повышает сопротивление теплопередаче его межстекольной прослойки почти в 2,5 раза, а в трехслойном – в 1,7 раза.

Наибольший эффект достигается, как правило, при совместном использовании в стеклопакетах теплоотражающих стекол и газового заполнения.

Так, двухслойный стеклопакет бельгийского производства с заполнением прослойки воздухом и с солнцезащитным покрытием имеет коэффициент светопропускания $\tau = 0,68$, общий коэффициент пропускания солнечной энергии $T_0 = 0,71$, сопротивление теплопередаче $R_0 = 0,62 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$, тогда как у трехслойного стеклопакета австрийского производства с заполнением прослойки газом другого состава и с теплозащитным покрытием $\tau = 0,72$, $T_0 = 0,61$, сопротивление теплопередаче $R_0 = 0,92 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$.

Еще большее сопротивление теплопередаче (до $1,35 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и более) имеет вакуумный стеклопакет с теплоотражающим покрытием, разработанный исследовательским институтом по использованию солнечной энергии (США). Сверхглубокий вакуум (не менее $1,3 \cdot 10^{-3}$ Па) в межстекольной прослойке создают путем откачки воздуха и заварки торцов стеклопакета лазерным лучом.

Новые конструктивные разработки по изменению форм поверхности остекления позволили улучшить его *солнцезащитные свойства*, а разработки по использованию вентилируемой воздушной прослойки – теплозащитные свойства светопрозрачного ограждения. Наибольший интерес среди разработок по изменению форм поверхности остекления представляет призматическое остекление, которое обеспечивает практически одинаковый уровень освещенности в помещениях и в ясный, и в пасмурный день, позволяет отражать высокие (летние) и пропускать в помещение низкие (зимние) солнечные лучи. Оно может использоваться в любом климатическом районе и способствует созданию теплового и светового комфорта в помещениях как в зимнее, так и в летнее время.

Такое солнцезащитное остекление состоит из панели со множеством стеклянных призм, установленных в одной плоскости вплотную друг к другу, или из листа органического материала, наружная поверхность которого имеет рифление в виде микропризм, расположенных сплошными горизонтальными рядами. Панель или лист могут изменять угол наклона в вертикальной плоскости таким образом, что проходящие солнечные лучи попадают в любую зону помещения (на потолок, стену или выводятся наружу).

Призматическая панель, разработанная в Великобритании, состоит из двух призматических элементов, один из которых может занимать наклон-

ное положение. Наклонный элемент отражает прямой, а вертикальный элемент перераспределяет рассеянный солнечный свет (см. рис. 6.5, В).

Для повышения теплозащитных свойств традиционной конструкции светопрозрачного ограждения с помощью вентилируемой воздушной прослойки используют следующие конструктивные решения:

- область применения окон со спаренными переплетами ограничивают, но более широко применяют окна с тройным остеклением и отдельными переплетами, так как последнее конструктивное решение окон экономичнее по расходу тепла на подогрев инфильтрующего воздуха примерно на 25 %;
- в оконном блоке могут быть устроены вентилируемые оконные клапаны (аэроматы) с подачей воздуха в верхнюю зону помещения (рис. 6.6,а) [71];
- в верхней и нижней зонах окна устраивают вентиляционные отверстия;
- в межстекольном пространстве оконного блока с двойным остеклением устанавливают третье стекло с зазорами у верхней и нижней его кромки. Во внутренней воздушной прослойке происходит конвективное движение воздуха из помещения, и температура экранирующего стекла будет близкой к комнатной. Такая конструкция окна позволяет осуществлять вентиляцию помещения, утилизируя тепло уходящего воздуха.

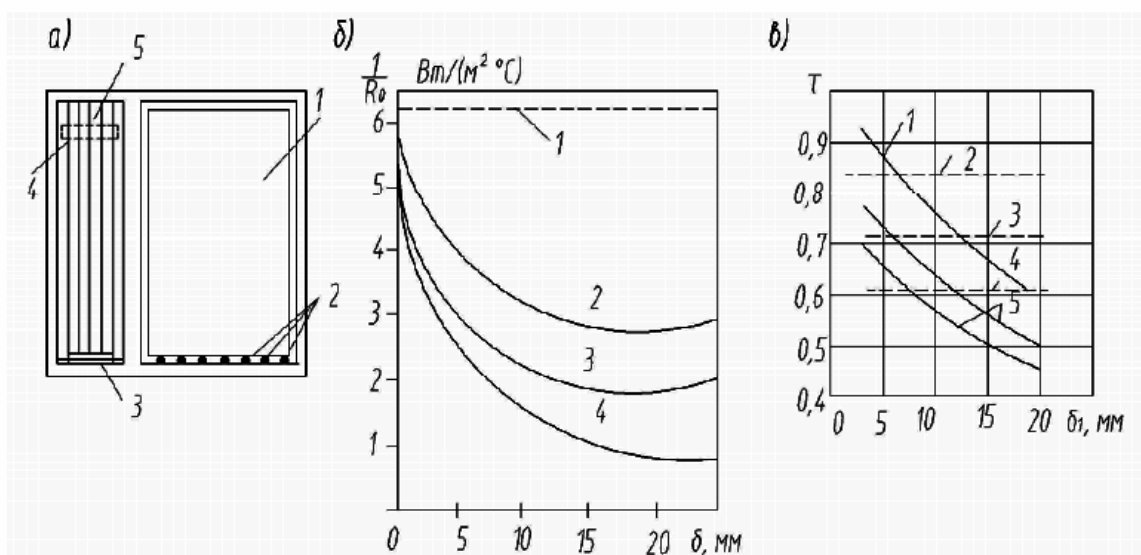


Рис. 6.6. Новые конструктивные решения светопрозрачных ограждений:
 а – оконный блок с вентиляционными устройствами, обеспечивающими утилизацию теплотерь: 1 – оконный блок; 2,3,4 – приточные наружные и внутренние отверстия; 5 – клапаны;
 б – теплотехнические свойства стеклопакета с аэрогелем кремнезема и обычных конструкций окон: δ – ширина межстекольного пространства; 1 – однослойное остекление; 2 – двухслойное остекление; 3 – двухслойное остекление с теплоотражающим покрытием; 4 – аэрогельное окно; в – светотехнические свойства стеклопакета с аэрогелем кремнезема: δ_1 – толщина слоя аэрогеля, мм; τ – коэффициент светопропускания; 1 – аэрогель; 2 – однослойное остекление; 3 – двухслойное остекление; 4 – трехслойное остекление; 5 – аэрогельное окно

Конструктивное решение светопроемов с повышенными теплозащитными свойствами должно обеспечивать достаточную светопропускаемость. Именно по этой причине традиционные конструктивные решения окон с многослойным остеклением в отдельных переплетах недостаточно эффективны из-за существенного снижения светопропускания. Оно снижается, например, при трехслойном и четырехслойном остеклении по сравнению с двухслойным соответственно до 21 и 43 %.

С этой точки зрения наиболее эффективна конструкция окна с двухкамерным стеклопакетом в одинарном переплете: она обеспечивает увеличение общего коэффициента светопропускания примерно в 1,5 раза при снижении приведенного сопротивления теплопередаче всего на несколько процентов. Несколько меньшую светопропускаемость, но значительное увеличение приведенного сопротивления теплопередаче имеет светопрозрачное заполнение из термопластов в виде коробчатых светопропускающих элементов с тонкими перегородками, которые образуют систему узких замкнутых щелевидных полостей, расположенных параллельно световому и тепловому потокам. Конструкция щелевидного оконного заполнения толщиной 140 мм с шагом перегородок 6 мм имеет приведенное сопротивление теплопередаче $1,38 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ и коэффициент светопропускания 0,7, что в 1,3...1,5 раза больше по сравнению с многослойными заполнениями с аналогичным термическим сопротивлением [72].

Наилучшими светотехническими качествами оконного заполнения и хорошими теплоизоляционными свойствами обладают конструкции со светопрозрачной теплоизоляцией из аэрогелей, состоящих на 97 % из мельчайших пор и имеющих коэффициент теплопроводности $0,019 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$. При такой теплопроводности окно с аэрогелем толщиной 20 мм, помещенным в пространство между стеклами, может иметь сопротивление теплопередаче $1,98 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$. Теплотехнические и светотехнические качества окна зависят от ширины межстекольного пространства, заполненного аэрогелем (рис.6.6,б,в). Кремнеземные частицы, имеющие размеры, гораздо меньшие длины волны видимого света, и дающие поэтому малое рассеивание, обеспечивают светопрозрачность таких аэрогелей. При толщине аэрогеля 6 мм светопропускание окна равно светопропусканию традиционной конструкции окна с двойным остеклением.

Недостатками данной конструкции светопроема считаются:

- трудоемкость изготовления аэрогеля;
- необходимость тщательной герметизации межстекольного пространства;
- высокие сорбционная способность и водопоглощение аэрогеля.

В последние годы в зарубежной практике стали использоваться новые технические средства освещения в виде щелевых световодов и концентраторов светового потока, транспортирующих солнечный свет во внутренние

помещения здания, что позволяет уменьшить площади бокового остекления, а следовательно, и теплопотери этого здания.

6.3. Общие принципы проектно-исследовательской работы по выбору конструкции наружного ограждения с повышенными теплозащитными качествами

Рассмотренные в предыдущих разделах монографии проектные решения традиционных и эффективных ограждающих конструкций и способы восстановления их функциональных свойств позволяют наметить общий подход к методике разработки конструкций наружных ограждений с повышенными теплозащитными качествами.

Опыт проектно-исследовательской работы показывает, что больше возможностей по улучшению теплотехнических свойств многослойных конструкций имеется на стадии конструкторских разработок, а однослойных – на проектно-технологической стадии.

Общими принципами повышения теплозащитных качеств однослойных и многослойных ограждающих конструкций являются:

1. Регулирование (совершенствование) структуры материала.
2. Установление допустимого влажностного состояния.
3. Соблюдение необходимого уровня герметичности конструкций и их стыковых соединений.

Эти принципы могут быть обеспечены путем использования целого ряда проектно-технологических и архитектурно-конструктивных мероприятий:

При конструировании *однослойных ограждений*

1. В процессе регулирования структуры материала однослойной ограждающей конструкции следует исходить из необходимости получения материала пониженной плотности и теплопроводности в сочетании с его достаточными прочностными характеристиками. Эффективные легкие и ячеистые бетоны с плотностью материала соответственно до 900...1000 и 500...600 кг/м³ получают на технологической стадии производства путем использования заполнителей насыпной плотностью 250...300 кг/м³, вспученного гидрофобизированного перлитового песка, специальных добавок (микроренообразователи, суперпластификаторы и др.), пористых заполнителей и вяжущих пониженной теплопроводности.

2. Обеспечение на проектно-технологической стадии допустимого влажностного состояния материала ограждения. Введение в него специальных добавок, позволяющих значительно повысить морозостойкость, уменьшить величину отпускной влажности материала, а также снизить паро- и влагопроницаемость ограждающей конструкции.

3. Повышение уровня герметичности конструкции и ее стыковых соединений, что способствует улучшению теплозащитных качеств одно- и многослойных ограждений. Высокую воздухо- и влагопроницаемость, а также теплопроводные включения имеют ограждающие конструкции в местах расположения стыков. Поэтому на стадии конструкторских разработок выбирают вариант стыка, наилучшим образом соответствующий климатическим условиям строительства, проводят работу по улучшению его функциональных свойств (повышение степени воздухо-, влаго- и теплозащиты), уменьшению общей длины и числа стыковых соединений с целью сокращения теплопотерь здания. С этой целью применяют крупноразмерную разрезку панельных стен.

При конструировании *многослойных ограждений*

1. Учитывают некоторые принципы повышения теплозащитных качеств, характерные и для однослойных конструкций, в том числе упомянутые в вышеприведенных пп. 2 и 3.

2. Широко используют эффективные утеплители типа минеральной ваты или пенопласта, что принципиально решает задачу многократного повышения термического сопротивления наружной ограждающей конструкции без заметного увеличения ее веса и расхода энергоемких материалов.

3. Выполняют конструкторские разработки ограждений повышенной термической однородности с эффективным утеплителем. При этом минимизируют как число теплопроводных включений, так и их площадь.

4. Повышают уровень теплозащиты трехслойных бетонных панелей на жестких связях путем уменьшения размеров этих связей (до 4...6 см по ширине) или замены их на гибкие связи из стали с коррозиестойким покрытием.

5. Вводят в состав конструкции другие эффективные слои (воздушные прослойки, отражающие пленки).

6. Включают в конструкцию ограждения новые элементы или устройства, в том числе энергоактивного типа.

7. Добиваются рационального расположения конструктивных слоев в ограждении.

8. Разрабатывают конструктивные решения, обеспечивающие утилизацию тепла уходящего воздуха помещений.

9. Устраивают в конструкции наружного ограждения воздушные прослойки. Замкнутая воздушной прослойки увеличивает теплоустойчивость ограждающей конструкции, а также повышает ее термическое сопротивление примерно на 5...18 %, в зависимости от направления потока тепла, температуры воздуха, месторасположения и толщины этой прослойки. Использование вентилируемой воздушной прослойки также способствует увеличению теплоустойчивости ограждения и повышению его теплозащитных качеств за счет уменьшения теплопоступлений от солнечной радиации в летний период и снижения теплопотерь через конструкцию при

утилизации тепла уходящего воздуха в зимний период эксплуатации. Кроме того, движущийся в прослойке воздух оказывает благоприятный эффект на эксплуатационные свойства и теплоизолирующую способность наружного ограждения. Устройство воздушных прослоек – один из наиболее эффективных способов повышения теплозащитных качеств ограждений зданий: это приводит лишь к незначительному удорожанию конструкции, и воздух в прослойках ее не утяжеляет. При оклейке одной или обеих поверхностей воздушной прослойки отражающим материалом (металлизированной отражающей пленкой) ее термическое сопротивление увеличивается примерно в 2 раза.

10. Учитывают, что последовательность расположения конструктивных слоев влияет на теплозащитные качества ограждающей конструкции:

- при расположении теплоизоляционного слоя ближе к наружной стороне ограждения уменьшается вероятность конденсации водяного пара в толще конструкции и повышаются в целом ее теплозащитные качества;

- последовательность расположения конструктивных слоев из материалов разной плотности в значительной степени влияет на тепловую инерцию наружного ограждения, на характер затухания амплитуды колебаний температуры в его толщине;

- при устройстве замкнутой воздушной прослойки учитывают следующее: размещение ее ближе к наружной поверхности ограждения уменьшает общий коэффициент теплопередачи за счет уменьшения количества тепла, передаваемого излучением через конструкцию в зимнее время; разделение воздушной прослойки достаточно большой толщины на несколько небольших прослоек способствует повышению в целом сопротивления теплопередаче конструкции;

- размещение более плотного слоя со стороны внутренней поверхности ограждения способствует улучшению его влажностного режима в процессе диффузии водяного пара, а следовательно, и повышению уровня его теплоизоляции.

11. Разрабатывают энергосберегающие конструктивные решения по утилизации тепла уходящего воздуха. Последний в процессе движения по каналам, прослойкам и чердачному пространству отдает часть тепла ограждающей конструкции, повышая при этом ее сопротивление теплопередаче в пределах до 30 %, а при наличии в конструкции приточных вентиляционных отверстий и прослоек отдает тепло также и свежему, более холодному воздуху. В последнем случае энергоэффективность конструктивного решения ограждения еще более возрастает, так как расход тепла на нагрев приточного воздуха в гражданских и промышленных зданиях составляет 40...90 % от его общего расхода. Использование утилизированного тепла вытяжного воздуха для подогрева приточного в конструкциях ог-

раждений позволяет уменьшить энергозатраты на вентиляцию здания примерно на 20...40 %.

12. Повышают теплозащитные качества конструкций светопроемов. Потери тепла через остекление достигают 30...50 % общих теплопотерь через наружное ограждение. На величину термического сопротивления светопрозрачного ограждения влияет количество слоев остекления, применение специальных видов стекол, светоотражающих пленок, материал элементов переплета. Использование светоотражающих пленок в межстекольном пространстве позволяет увеличить термическое сопротивление светопроема примерно в 1,5 раза, а для окна с двойным остеклением – в 1,2...1,45 раза, если один слой обычного стекла заменить специальным (теплопоглощающим, теплоотражающим).

7. ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИТНОЙ ФУНКЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЛАГОПРИЯТНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ

Здание с ограждающими конструкциями – одна из форм видоизменения среды в соответствии с потребностями человеческого организма.

Рационально спроектированные и качественно выполненные ограждающие конструкции должны способствовать обеспечению комфортного микроклимата в помещениях, быть безвредными для здоровья человека, служить ему защитой от вредных воздействий и выбросов.

В последние годы все более значимыми становятся новые факторы воздействия на состояние внутренней воздушной среды: естественный фон радиоактивного излучения, искусственные электромагнитные поля, выделения токсических химических веществ из конструкционно-отделочных и теплоизоляционных материалов, лакокрасочных покрытий, мебели и т.д. [78]. При воздействии этих факторов и плохой работе системы вентиляции здание следует рассматривать как «больное» здание (Sick house).

Разработка оптимального варианта наружной оболочки «здорового» и в то же время энергоэффективного здания представляет собой сложную инженерную задачу, что объясняется не только многообразием факторов влияния на наружное ограждение и в целом на единую энергетическую и экологическую систему (ЕЭЭС) здания (табл. 7.1), но и противоречивостью многих из них. Так, например, повышенный режим работы вентиляционной системы часто необходим для улучшения экологического состояния и микроклимата помещения, но вместе с тем такой режим вызывает дополнительные потери энергии в виде тепла уходящего воздуха. И наоборот, попытки сберечь тепло путем полного или частичного прикрытия вентиляционных отверстий (приточных или вытяжных) приводят к ухудшению экологического состояния воздуха помещений.

Наружные ограждения, предназначенные для пассивного использования солнечной энергии, служат источником дополнительного обогрева помещений, но, являясь своеобразными аккумуляторами тепла, они в летнее время могут стать причиной ухудшения температурного режима помещений.

Эффективный способ учета различных факторов воздействия на наружное ограждение, энергобаланс и экологию воздушной среды здания – поиск и разработка для каждого конкретного случая оптимальных конструктивных решений, что часто удается на основе проведения критериального анализа факторов влияния.

7.1. Новый подход к улучшению работы системы естественной вентиляции и экологии воздушной среды МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ

7.1.1. Состояние проблемы проектирования системы естественной вентиляции многоэтажных жилых зданий

Применение в массовом строительстве жилых зданий светопрозрачных конструкций с высокой герметичностью оконных притворов обусловило ухудшение качества воздуха в помещениях, повышение его относительной влажности, образование плесени на отдельных конструкциях, повреждение отделки помещений.

Т а б л и ц а 7 . 1

Мультиграфы взаимодействия некоторых факторов влияния
на ЕЭЭС здания

<p>Солнечная радиация(СР) Осадки (ОС) Система отопления(ПО) Система естественной вентиляции (ПВ) Окна (ОК) Покрытие здания(ПЗ) Экологические параметры воздуха помещений (ЭП)</p>	
<p>Эффективные конструкционно-тепло- изоляционные материалы (ТМ) Строительная технология возведения (СТ) Энергоэффективность здания (ЭЗ) Наружные ограждающие конструк- ции (НО) Экологические параметры воздуха (ЭП) Подсистема вентиляции (ПВ)</p>	

Эти проблемы характерны не только для нашей страны. Появился даже специальный термин, характеризующий состояние параметров внутренней

среды подобных зданий, – «синдром больных зданий». В большинстве европейских стран повышение герметичности оконных блоков и, соответственно, снижение воздухообмена помещений компенсировалось мероприятиями для притока воздуха (клапаны, системы приточно-вытяжной механической вентиляции).

В нашей стране также начали проводить исследования и разрабатывать нормативы по учету взаимосвязи герметичных светопрозрачных конструкций с микроклиматом помещений и работой систем вентиляции [73–77].

Ниже, в подразд. 7.1.1 дан краткий обзор материалов по этой проблеме, вошедший в публикации Ливчака В.И., Китайцевой Е.Х., Малявиной Е.Г., Шонина Н.А., Фангер П.О.

В последние годы к вышеперечисленным проблемам добавилась еще одна – нарушение работы систем естественной вентиляции, проявляющееся в изменении направления движения воздуха в вытяжных вентиляционных каналах (так называемое опрокидывание каналов) с поступлением в отапливаемые помещения наружного холодного воздуха. Последствия: понижение температуры стенок каналов, образование конденсата, изморози, наледи, перетекание воздуха через вытяжные каналы между отдельными квартирами, опрокидывание тяги в вытяжных шахтах. Это вызывает вполне закономерные претензии к строителям со стороны потребителей.

Опыт Запада по последствиям герметизации квартир показывает, что в сложившихся условиях понятие «периодическое проветривание» необходимо заменить на понятие «постоянная вентиляция». Европейцы убедились в этом гораздо раньше, когда там после массового капремонта стены начали покрываться плесенью, в результате люди стали чаще болеть. Более чем тридцатилетний опыт использования на западе современных «умных» клапанов и других систем вентиляции, которые у нас только начинают появляться, позволяет сделать вывод о том, что проблемы, связанные с избыточной герметизацией и ухудшением здоровья, можно решить.

При этом используют специальные мероприятия по обеспечению притока наружного воздуха, наиболее простые и экономичные из которых следующие:

1. Жильцы самостоятельно каждый час будут проветривать квартиру.
2. Применение стеновых или оконных клапанов, обеспечивающих постоянный приток свежего воздуха.
3. Внедрение механической вытяжной системы вентиляции.

Традиционный подход, заключающийся в периодическом проветривании помещений или открытии створки окна на микропроветривание, представляется малоэффективным, поскольку приводит к нарушению температурного режима помещения, ухудшению звукоизоляции помещений, что особенно актуально для квартир, выходящих на транспортные магистрали. Подобный режим проветривания неизбежно приводит к периодическим колебаниям температуры и, как следствие, к простудным заболеваниям.

Определенные издержки реализации проектных решений имеют место на строительной площадке, в то же время допускаются упущения или ошибки на стадии разработки проекта – при выборе принципиальной схемы системы вентиляции, проведении аэродинамического расчета и обосновании конструктивных параметров системы. Одна из основных причин – отсутствие организованного притока воздуха. Но налицо и явные ошибки, обусловленные прежде всего издержками применяемых методик аэродинамического расчета вентиляционных систем. Надо отметить, что большинство из перечисленных проблем не являются принципиально новыми. О тех или иных аспектах нарушения проектных режимов работы систем естественной вентиляции, необходимости повышения их надежности писали, начиная с 1960-х годов. Однако эти упущения назвать в полной мере ошибками сложно, поскольку до последнего времени отсутствовали нормативные и методические документы, прописывающие процедуры подобных расчетов применительно к системам естественной вентиляции с учетом характеристик современных ограждающих конструкций.

Так, в СНиП 31-01–2003 «Здания жилые многоквартирные» декларируется: «В жилых помещениях и кухне приток воздуха обеспечивается через регулируемые оконные створки, фрамуги, форточки, клапаны или другие устройства, в том числе автономные стеновые воздушные клапаны с регулируемым открыванием ...». То есть формально СНиП 31-01-2003 допускает проветривание за счет периодически открывающихся форточек или створок оконных блоков.

Но этот же СНиП излагает и требования к воздухообмену помещений – в нерабочем режиме кратность воздухообмена должна быть не менее $n = 0,2$ для жилых комнат и не менее $n = 0,5$ для кухни и санузлов. Например, в типовой трехкомнатной квартире – не менее $40 \text{ м}^3/\text{ч}$. При закрытых створках оконные блоки из ПВХ-профилей не обеспечивают и 20 % требуемого притока воздуха.

Механической может быть система не только приточной, но и вытяжной вентиляции. В Скандинавских странах применение таких систем в жилых зданиях является обязательным. Однако французские и немецкие специалисты, работающие в области отопления и вентиляции, отрицательно относятся к применению в жилищном строительстве механической приточной вентиляции из-за дороговизны этого решения.

В Германии не придерживаются необходимости принудительной приточной вентиляции в жилых зданиях.

В европейских странах, как правило, применяется механическая вытяжная вентиляция с единым на секцию постоянно работающим центробежным вентилятором, и неорганизованный, под естественным давлением, приток воздуха идет через специальные отверстия в оконной коробке или стене, оборудованные закрывающимися клапанами.

В жилых домах «элитного» класса для достижения требуемого воздухообмена в квартирах проектируется приточно-вытяжная механическая вентиляция. При этом применение механической вентиляции незначительно повышает себестоимость квартир – по расчетам, примерно 5 долл. США/м².

На работу системы естественной вентиляции в жилых зданиях большое влияние оказывают мощность системы отопления, архитектурно-планировочные и конструктивные решения этих зданий, теплотехнические показатели наружных ограждений, особенности эксплуатации квартир жильцами. С учетом этого организация и рациональное поддержание воздушно-теплого режима в жилых зданиях является комплексной задачей. Однако действующая система нормативных документов, специализированная по отдельным разделам проектирования, не учитывает этой комплексности. Это приводит к сбоям в работе системы естественной вентиляции, нарушениям санитарно-гигиенических условий эксплуатации зданий – появлению сырости и плесени на поверхности окон и оконных откосов, росту хронических заболеваний, таких, например, как астма и т.п.

В жилых зданиях чистота воздуха зависит от работы системы естественной вентиляции. Свежий воздух поступает через форточки, из щелей в окнах и дверях и удаляется через вытяжные каналы в санузлах и кухне. Преимущества данного решения вентиляции квартир: экономичность и простота в эксплуатации. Недостатки: качество вентиляции квартиры зависит от проектировщиков и строителей (вытяжные каналы могут быть неправильно смонтированы, установка в вентиляционных каналах вытяжных вентиляторов в целом ухудшает вытяжку воздуха). Но самая большая ошибка происходит из-за того, что при использовании высокогерметичных пластиковых окон в зданиях традиционная система вентиляции работает плохо.

С одной стороны, это является положительным качеством, поскольку окна практически не продуваются при сильном ветре, и в холодный период года не происходит чрезмерных теплопотерь. Но, с другой стороны, высокая герметичность ограждающих конструкций приводит к уменьшению естественного воздухообмена помещений и, как следствие, к повышению содержания вредных веществ в воздухе и увеличению относительной влажности воздуха со всеми вытекающими последствиями.

Путь решения этой проблемы – обеспечение регулируемого притока воздуха за счет установки либо специальных приточных вентиляционных устройств, либо механических систем. Устройство механических систем приточной вентиляции в многоэтажных зданиях мероприятие дорогостоящее; гораздо дешевле устанавливать приточные вентиляционные клапаны. Последние применяют все чаще при проектировании систем вентиляции

жилых и общественных зданий, но к сожалению, как правило, без какого-либо расчета.

При установке каких-либо клапанов, фурнитуры с микропроветриванием или микровентиляцией требуемый воздухообмен может быть не обеспечен. Без взаимной увязки сопротивлений приточных и вытяжных систем вентиляционные каналы могут быть опрокинуты и при наличии приточных устройств. Нейтральная зона — условная плоскость, в которой перепад давлений между внутренним и наружным воздухом равен нулю. При наличии отверстий в ограждающих конструкциях (например, открытых окон) нейтральная зона располагается между приточными и вытяжными отверстиями. Конкретное местоположение нейтральной зоны зависит от соотношения площадей приточных и вытяжных отверстий. При отсутствии приточных устройств или их достаточно большом сопротивлении нейтральная зона поднимается вверх. И чем больше сопротивление приточных клапанов, тем нейтральная зона поднимается выше. При этом, если оголовки каналов расположены на различной высоте, то при определенных условиях один из них может начать работать на приток.

Таким образом, для нормальной работы системы вентиляции необходима взаимная увязка сопротивлений приточных устройств с располагаемыми давлениями и сопротивлением вытяжных каналов. Кроме того, сопротивления каналов в пределах квартиры должны быть увязаны между собой. Подбор количества приточных устройств — стеновых или оконных вентиляционных клапанов с учетом их типоразмеров — предлагают производить по разности давлений между располагаемым давлением и потерями давления в вытяжных каналах.

Расчет и подбор сечений каналов для многоэтажного здания является сложной задачей, решение которой в настоящее время трудно осуществимо без применения ЭВМ.

При проектировании системы естественной вентиляции важно учесть, что:

- во-первых, при эксплуатации здания в отдельных квартирах или большинстве квартир клапаны могут быть закрыты и, соответственно, система вентиляции может оказаться в неустойчивом состоянии;
- во-вторых, как правило, возникает слишком большая разница в аэродинамическом сопротивлении приточных клапанов и вытяжных каналов.

В современной квартире, оборудованной приточными оконными или стеновыми клапанами, основные потери давления приходятся на приток (приточные клапаны и окна). Поэтому для успешной работы системы вентиляции необходима тщательная увязка вытяжных каналов как с приточными вентиляционными устройствами, так и между собой (подбор харак-

теристик приточных клапанов: количество, сопротивление для прохода воздуха, расход и характеристик вытяжных каналов: количество, размеры, высота оголовков и др.).

Такую увязку важно выполнить для квартир верхних этажей многоэтажных зданий, как правило, имеющих собственные вытяжные каналы (с очень маленьким сопротивлением), а также в случаях, если оголовки вентиляционных шахт находятся на разных отметках.

Таким образом, для обеспечения устойчивой работы системы естественной вентиляции жилых многоквартирных зданий и предотвращения опрокидывания вытяжных каналов специалисты рекомендуют:

1. Обязательное применение специальных приточных устройств, обеспечивающих регулируемый приток свежего воздуха в жилые комнаты.

2. На стадии проектирования систем вентиляции – тщательная увязка вытяжных каналов с приточными вентиляционными устройствами и между собой. Если обеспечить требуемое сечение вытяжных каналов не представляется возможным (например, в крупнопанельных зданиях с вентиляционными блоками заводского изготовления), следует предусматривать установку дросселирующих вкладышей с калиброванными отверстиями, указывать их количество, место установки, диаметр отверстий с раскладкой по этажам.

7.1.2. Ход проведения и результаты натурных исследований системы естественной вентиляции и микроклимата помещений многоэтажных жилых зданий

Необходимость проведения вышеупомянутых мероприятий по санации системы естественной вентиляции была подтверждена результатами натурных обследований, выполненных в феврале-марте 2013 г. кафедрой «Городское строительство и архитектура», двух 10-этажных жилых домов. Дома расположены по адресу ул. Лядова, 16 (рис. 7.1) и ул. Онежская, 21а (рис. 7.2). Наружные стены зданий имеют многослойную конструкцию (силикатный кирпич полнотелый + утеплитель (пенополистирол) + силикатный кирпич пустотелый и кирпич керамический пустотелый утолщенный). Чердак зданий холодный. В обоих зданиях по проекту предусмотрена вентиляция естественная приточно-вытяжная с учётом неорганизованного поступления наружного воздуха в жилые помещения и организованного удаления воздуха из кухонь и санузлов с выбросом воздуха выше кровли. Транспортировка вытяжного воздуха осуществляется через вентиляционные блоки заводского изготовления со сборными магистральными каналами и перепускными каналами.



Рис. 7.1. Дом, расположенный по адресу: ул. Лядова, 16



Рис. 7.2. Дом, расположенный по адресу: ул. Онежская, 21а

Инструментальные обследования показали наличие обратной тяги в вытяжных каналах. Одна из главных причин обратной тяги заключается в том, что вентрешетка установлена на «проходящем» канале. Для нормальной работы вентиляции вентканал квартиры начинается с «заглушки», т.е. у воздуха, попадающего через вентрешетку в канал, должен быть только один путь – вверх. Не допускается наличия хода вниз – либо сразу у нижней части вент. решетки, либо с небольшим углублением, но обязательно канал должен быть отглушен (перекрыт) в нижней его части. Иначе велика вероятность того, что такой канал даст обратную тягу. Квартиры присоединены к такой системе вентиляции «вразбежку». Вентблоки отлиты на заводе ЖБИ таким образом, что каналы-спутники (они же – разгонные участки) сообщаются с общей шахтой окошками через каждые 2,5 метра.

В обследованных домах предусмотрен так называемый «универсальный» вентиляционный блок. Если отливать на заводе вентблоки с разделением «для четных этажей» и «для нечетных», то при их монтаже путаница неизбежна. Такой тип вентблока делается для того, чтобы при монтаже рабочий не задумывался над его устройством. После монтажа он выбирает, какой канал-спутник будет задействован для «четных» этажей дома, а какой – для «нечетных». Исходя из этого, на месте устанавливаются в каналы-спутники заглушки.

Однако опыт строительства многоэтажных жилых зданий и проведенные натурные исследования показывают, что при монтаже таких блоков допускаются нарушения технологического процесса.

В итоге вместо системы вентиляции с общей (транзитной) шахтой и двумя каналами-спутниками получаются три транзитных канала. Особенно эта проблема заметна на верхних этажах, если вентиляционная решетка ус-

тановлена на таком транзитном канале. В этом случае поток воздуха, поднимаясь по каналу и пролетая мимо вентрешетки, либо будет давать обратную тягу, либо будет сильно препятствовать удалению воздуха из квартиры. После установки заглушки она будет отсекаать нижний поток воздуха и направлять его в сборный канал через предусмотренное окошко. Тем самым вентиляция в квартире начинается как бы с нуля (не испытывает никаких препятствий и не блокируется другими воздушными потоками, т.е. становится такой, как и предусмотрено нормами).

Даже последующее наращивание высоты оголовок вентшахт, выполненное застройщиком зданий, не позволило предотвратить возникновение обратной тяги (рис. 7.3).



Рис. 7.3. Оголовки вентшахт на ул. Онежской, 21а

Помимо вышеприведенных результатов обследований было также установлено следующее.

1. Входные двери в лестничные клетки зданий, а также двери тамбуров не уплотнены в притворах, что может создавать условия для перетекания загрязненного воздуха из лестничной клетки и шахт лифтов в квартиры и способствовать формированию обратной тяги в вентиляционных каналах при закрытых окнах в помещениях квартир.

2. В исследованных квартирах окна выполнены в ПВХ-переплётах со стеклопакетами, которые обладают большой герметичностью при отсутствии приточных устройств и исключают инфильтрацию наружного воздуха, что также способствует формированию обратной тяги в вентиляционных каналах квартир.

3. Зимой при закрытых окнах помещений квартир тяга в вентиляционных каналах отсутствует и тёплый воздух из помещений не попадает в вентиляционные каналы, а более тяжёлый наружный воздух опускается по вентиляционным каналам и через входы в вентканалы (решётки) попадает в квартиры. Этот процесс может усиливаться действием ветра. В результате этого проникновения холодного наружного воздуха стенки вентиляци-

онных блоков, находящихся в квартирах, могут иметь температуру поверхности, значительно меньшую комнатной.

4. В ряде квартир были зафиксированы температуры поверхностей вентиляционных блоков, заметно более низкие, чем температуры воздуха в помещениях, что указывает на проникновение в вентиляционные каналы холодного наружного воздуха и на возможность увлажнения этих поверхностей при достижении ими температуры точки росы.

5. При открытых на «микропроветривание» окнах в вентиляционных каналах исследованных квартир возникает нормальная тяга воздуха.

6. Отсутствие заглушек (отсечек) в каналах вентблоков оказывает сильное влияние на появление обратной тяги.

7. Выпадение конденсата и появление плесени замечены на отдельных участках наружных стен, в том числе на откосах оконных проемов (рис. 7.4, а, б).

8. На работу системы естественной вентиляции и микроклимат помещений квартир отрицательное влияние оказывает блокировка вытяжных отверстий в вентблоках периодически работающими зонтами кухонной плиты (рис. 7.5).

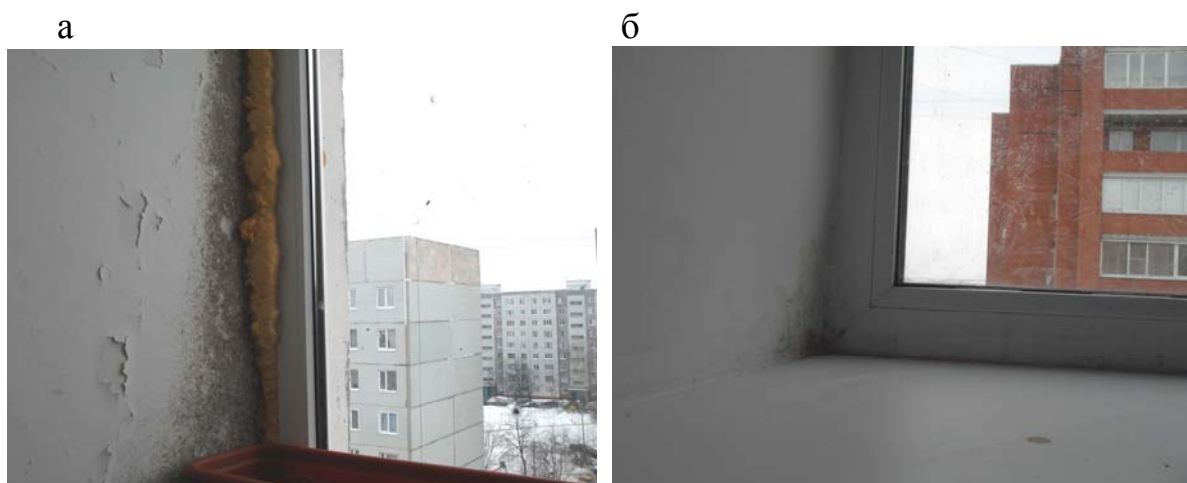


Рис. 7.4. а, б – плесень в месте примыкания стеклопакетов к откосам



Рис. 7.5. Канал естественной вытяжки заблокирован периодически работающим вытяжным зонтом кухонной плиты

Таким образом, результаты проведенных натурных обследований указывают на плохую работу естественной вентиляции помещений квартир, а следовательно, и на экологическое состояние внутренней воздушной среды, не удовлетворяющее нормативным требованиям.

Очевидно, что эффективное функционирование этих важных систем жизнеобеспечения зданий может быть реализовано на основе внедрения иных, более кардинальных инженерных решений. Одно из таких решений – результат научно-исследовательской работы, выполненной на кафедре ГСА Пензенского ГУАС в 2013 г. и рассмотренной в подразд. 4.1.

Другое инженерное решение, которое находит все большее применение в нашей стране, связано с установкой специальных вентиляционных клапанов (рис. 7.6, 7.7).

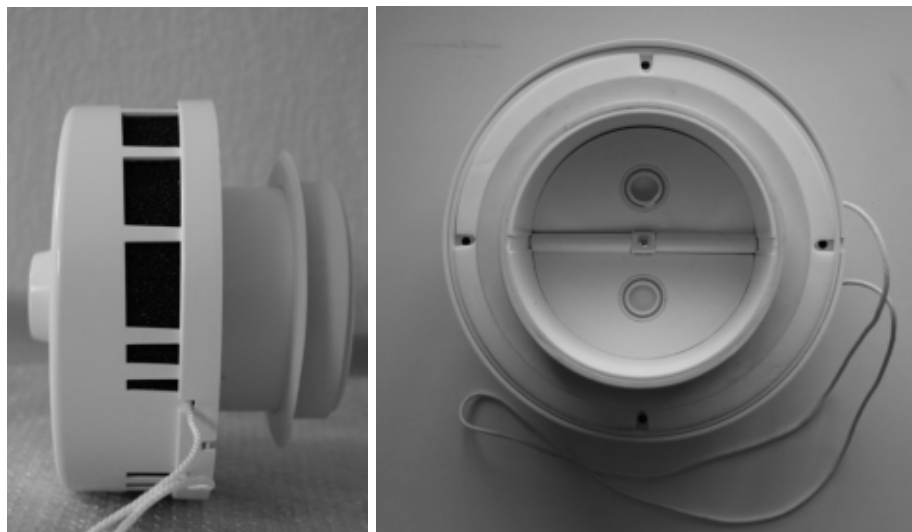


Рис. 7.6. Общий вид стенового клапана



Рис. 7.7. Места установки стеновых клапанов

Приточные стеновые клапаны. В суровых климатических условиях России с отопительным периодом более полугода, где оконную створку далеко не всегда можно держать приоткрытой, необходимо применять устройства для регулируемого притока воздуха через современные приточные клапаны.

Специальные приточные клапаны имеют расход воздуха через них от 5 до 50 м³/ч. Приточные клапаны можно устанавливать и на наружные стены, и на окна. Современные приточные клапаны имеют автоматическое регулирование расхода воздуха и противозвучные вставки.

Конструкция клапанов может быть различной. Некоторые имеют заглушку, которую открывают и закрывают вручную по мере надобности. Более новые модели клапанов снабжаются электронными датчиками, которые реагируют на изменение влажности в квартире и открывают клапан для впуска воздуха с улицы. Перед установкой клапана измеряется его внешний диаметр. Вентиляционный клапан должен быть установлен как можно более плотно.

Главным условием удовлетворительной работы приточных клапанов является их установка над отопительными приборами. Теплый воздух от отопительных приборов, поднимаясь к потолку, должен прижимать струю свежего холодного воздуха из клапана к потолку, где он, смешиваясь с конвективным потоком теплого воздуха, растекается по верхней зоне помещения, не создавая сквозняков.

Влагосодержание приточного воздуха достаточно мало, и в приоконной зоне создается область с пониженной относительной влажностью (по замерам – в пределах 10...15 %, особенно при наличии штор). Это практически исключает условия выпадения конденсата как на самом клапане, так и на остеклении. При этом относительная влажность воздуха в жилых помещениях составляет примерно 30...40 %.

Иная ситуация может наблюдаться, если воздух из помещений притекает к охлажденным поверхностям, например, при заблокированном вытяжном отверстии кухонным зонтом. В этом случае могут появиться изморозь или сосульки иногда даже на оконных блоках и клапанах в местах их локального продувания.

В стеновых клапанах типа КИВ-125 приток сухого воздуха вокруг оголовка обеспечивается за счет расположения приточных отверстий по всему периметру. Эти клапаны, размещаемые в верхней зоне помещений, уменьшают влияние холодных ниспадающих потоков воздуха на температурный режим приоконной зоны.

В клапанах типа СВК В-75, устанавливаемых под подоконниками над отопительными приборами, подогрев приточного воздуха дополнительно осуществляется за счет его смешивания с конвективными потоками теплого воздуха от отопительных приборов.

Следует отметить, что при температурах наружного воздуха ниже минус 30 °С и на этих клапанах возможно появление изморози. При повышении температуры наружного воздуха (до –20 °С...–15 °С) эта изморозь исчезала (испарялась за счет сублимации) без образования капелек конденсата.

7.2. Обеспечение теплового и акустического комфорта в помещениях

Комфортную температуру внутреннего воздуха люди, живущие в различных климатических районах, определяют по-разному. В суровых климатических условиях, как показывают опросы населения, требуется более высокая температура воздуха в помещении для быстрой нормализации теплового состояния человека после пребывания на открытом воздухе.

В табл. 7.2 показаны параметры комфортного микроклимата и экологического состояния воздушной среды помещений.

Т а б л и ц а 7 . 2

Параметры комфортного микроклимата и экологического состояния воздушной среды помещений

Наименование параметры	Значения параметров
Величина относительной влажности воздуха	
– при активной физической работе и температуре 18...20 °С	30...40 %
– в покое и температуре 18...20°	40...60 %
Скорость движения воздуха	0,08...0,15 м/с
Предельная концентрация углекислого газа	0,1 % на 1 м ³ воздуха
Звукоизоляция наружных ограждений вблизи шумной магистрали	Не менее 40 дБ.
Радоновое излучение: концентрация радона	Предельно допустимые значения 100...150 Бк/ м ³ воздуха
Контрольные уровни (в России):	
– в проектируемых зданиях	Не более 100 Бк/ м ³ воздуха
– в эксплуатируемых зданиях	Не более 200 Бк/ м ³ воздуха

На тепловой комфорт пребывания человека в помещении влияет не столько абсолютная температура окружающих его ограждающих конструкций, сколько перепад между температурой воздуха и температурой внутренней поверхности этих ограждений. Данная величина по нормам теплотехнического проектирования для наружных стен жилых зданий составляет 4 °С.

Однако, по оценке гигиенистов, теплоощущение человека, близкое к комфортному, наступает при упомянутом температурном перепаде не бо-

лее 3 °С. Более низкая температура внутренних поверхностей ограждающих конструкций даже при нормальной температуре воздуха помещения повышает радиационные теплотери человека. Последние особенно значительны вблизи больших светопроемов вследствие более низкой температуры поверхности стекла и мест притворов открывающихся переплетов. Охлажденный воздух опускается вниз и образует конвективные потоки, воспринимаемые как сквозняк. Нагревательный прибор под окном не устраняет полностью тепловой дискомфорт в случае нерационального конструктивного решения окна.

Неподвижный застойный воздух затрудняет отдачу тепла испарением и вызывает перегрев тела, а повышенная (скорость более 0,2 м/с) воспринимается человеком как дискомфортная, дающая ощущение сквозняка. Поэтому комфортная скорость движения воздуха в помещениях должна составлять 0,08...0,15 м/с, в зависимости от сезона и климатического района строительства.

Чистота воздуха – важнейший фактор экологического состояния внутренней воздушной среды, одним из показателей которого является содержание углекислого газа CO_2 . В условиях необходимого воздухообмена (3 м³/ч на 1 кв. м площади жилого помещения) не только обеспечивается требуемая чистота воздуха, но и значительно уменьшается количество пыли и микробов, взвешенных в воздухе помещений, а также число положительно заряженных частиц радонового газа, улучшается ионный состав воздуха благодаря увеличению легких и уменьшению тяжелых ионов.

7.3. Обеспечение допустимого уровня транспортного шума в помещениях

Многие территории, непосредственно прилегающие к селитебной застройке, имеют акустическую дискомфортность. В случае транспортных и других шумов использование наружных ограждающих конструкций, в том числе их светопрозрачных участков, с повышенной звукоизоляцией способствует обеспечению в помещениях акустического комфорта, тем более когда защитить здание от шума градостроительными методами не представляется возможным, например, из-за близкого его расположения к проезжей части.

Наружные ограждения, включая окна и витражи, ориентированные на оживленную магистраль, должны обладать звукоизоляцией не менее 40 дБ.

Для легких наружных ограждений с листовыми обшивками, которые не обладают такой звукоизоляцией, необходимо проводить дополнительные конструктивные мероприятия: чередовать в конструкции панели слои различной жесткости, предусматривать воздушный зазор между эффектив-

ным утеплителем и обшивкой, закреплять их по периметру панели, устанавливая упругие прокладки в местах ее крепления.

Шумозащитные окна отличаются более высокой звукоизолирующей способностью. Отличительный их признак – наличие тройного остекления, звукоизолирующего материала по периметру окна, нескольких рядов уплотняющих прокладок в притворах. В шумозащитных оконных блоках предусматривают возможность применения дополнительного, четвертого, слоя стекла в том случае, если при эксплуатации здания повысится уровень транспортного шума, а также улучшают герметизацию окна, используют в целях проветривания шумозащитный клапан, облицованный звукопоглощающими материалами.

Сопротивление теплопередаче у специальных шумозащитных окон на 15...20 % больше, чем у стандартных окон.

7.4. Радоновое излучение и архитектурно-строительные мероприятия по защите от него

В составе воздуха содержится некоторое количество электрически заряженных радиоактивных частиц инертного газа родона-222, прикрепляемых к частицам пыли и попадающих в бронхи и легкие человека. Уровень радиоактивного излучения следует считать одним из показателей экологического состояния воздушной среды помещений.

Образование радонового газа, который проникает в помещения через неплотности в ограждающих конструкциях, дают радий и уран, которые повсеместно, хотя и неравномерно распространены в земной коре, оседая на частицах пыли и попадая в легкие, радон оказывает канцерогенное воздействие и может вызвать раковые заболевания при высокой дозе облучения. В общем объеме естественного излучения доля излучения от газа радона относительно велика (30...60 %). Радон попадает в воздушную среду помещений не только с поверхности грунта, но и с поверхности ограждающих конструкций. В экологическую характеристику ограждений, окружающих человека в помещении и влияющих на его самочувствие и работоспособность, входит понятие удельной радиоактивности их материалов.

Основной поток радонового газа поступает в здания из почвы через пустоты или разломы в земной коре, где он перемещается к поверхности земли. Непосредственно в помещения здания радон проникает под влиянием перепада температур и давления между газом в грунтовом основании и внутренним воздухом, градиента ветрового давления, эжекторного эффекта вентиляционной системы. Далее он распространяется в помещения через швы и неплотности в конструкциях перекрытий, стен, перегородок, через лестничные клетки, каналы вентиляционной системы.

Конструктивное решение и техническое состояние наружных и внутренних ограждений многих эксплуатируемых зданий не обеспечивают достаточной защиты внутренней воздушной среды помещений от проникновения радиоактивного газа радона. Наружные стены, крыша, перекрытия, полы по первому этажу, окна и двери не являются абсолютно герметичными и поэтому проницаемы для инфильтрации наружного воздуха, диффузии водяных паров и газов, несущих радон с поверхности грунта.

Поскольку на прилегающей территории могут быть места сильных выбросов радона, то для эксплуатируемых зданий целесообразно оценивать его воздействие как со стороны грунта под зданием, так и с внешней стороны здания.

В табл. 7.3 приведены способы повышения защитной функции ограждающих конструкций и мероприятия по уменьшению воздействия радонового газа.

Т а б л и ц а 7.3

Повышение защитной функции ограждающих конструкций
от воздействия радонового газа

Способы и мероприятия по защите	Описание архитектурно-строительных решений и мероприятий
1	2
<p>Уменьшение потока проникающего радиоактивного газа радона:</p> <ul style="list-style-type: none"> • путем повышения герметичности ограждающих конструкций • путем повышения эффективности системы аэрации помещений 	<p>Устройство на уровне нижнего перекрытия герметичного слоя с высоким сопротивлением паропрооницанию уменьшает поток радонового газа в несколько раз</p> <p>Проведение конструктивных мероприятий по тщательной герметизации ограждающих конструкций подвала и нижних этажей здания (или нижнего участка стены в одноэтажном здании), особенно в местах стыковых соединений, примыканий оконных заполнений, вводов инженерных коммуникаций, для предотвращения неорганизованной инфильтрации воздуха:</p> <ul style="list-style-type: none"> – применение паронепроницаемых экранов, например из фольгоизола, фольгобитэпа, армобитэпа, по слою стяжки или по верхней поверхности панелей перекрытий, особенно тех, которые ограждают нижний этаж – установка зданий на сплошную монолитную железобетонную плиту <p>Применение конструкций наружных стен и оконных блоков, обеспечивающих постоянное вентилирование внутреннего воздуха (с помощью вентиляционных клапанов, щелевых отверстий и т.д.), а также путем создания в помещениях избыточного давления</p> <p>Устройство в подпольях, подвальных помещениях продухов под утепленными полами первого этажа для обеспечения выноса диффундирующего из грунта радонового газа в атмосферу</p> <p>Установка специальных фильтров в отверстиях притяжной вентиляции для очистки наружного воздуха от пыли, несущей электрически заряженные атомы радона и его дочерних продуктов (для помещений с высокими санитарно-гигиеническими требованиями)</p>

1	2
Другие решения и мероприятия	Использование специального оборудования для улавливания пыли с осажденным радоном и продуктов его распада Проектирование ограждающих конструкций из материалов с низким показателем удельной радиоактивности Использование в интерьерах помещений отделочных материалов, удобных для санитарно-гигиенической обработки поверхности; Разработка проектных решений и строительство зданий без первого этажа (по типу зданий архитектора Ле-Корбюзье) Выбор территории застройки с пониженным содержанием радонового газа в почве специальная подготовка застраиваемой территории: замена рыхлой породы на слабопроницаемое основание, например глинистое

7.5. Защита от радиоактивного излучения

Защитную функцию ограждающих конструкций от радиоактивного излучения можно повысить путем использования в конструкциях ограждений специальных бетонов высокой плотности. В ПГУАС разработаны такие составы бетонов с отходами свинцово-содержащего стекла.

Рационально запроектированное наружное ограждение должно выполнять *защитную функцию от искусственных электромагнитных полей*. Искусственные электромагнитные поля, накладываемые на электромагнитный фон планеты, возникают от работы многочисленных установок в радиолокационных средствах авиации, телевидении, радиоуправлении, радионавигации, радиосвязи, телеметрии, ускорительной техники.

Интенсивность электромагнитных полей (ЭМП) по мере совершенствования различных излучателей постоянно возрастает. Например, мощности радиолокационных установок увеличиваются в 10...30 раз за десятилетие, а радиусы опасных для населения зон вокруг них составляют уже сотни и тысячи метров. Поэтому на прилегающей селитебной территории могут создаваться неблагоприятные условия облучения населения ЭМП, если уровни облучения превышают установленные гигиенические нормативы.

Согласно гигиеническим нормам безопасным уровнем радиооблучения в нашей стране, не вызывающим никаких функциональных нарушений в организме человека, считается предельно допустимый уровень, равный 15, 20, 25 мкВт/см² для микроволнового диапазона.

В табл. 7.4 приведены конструктивные решения наружных ограждений, повышающие их защитную функцию.

Таблица 7.4

**Повышение защитной функции ограждающих конструкций
от искусственных электромагнитных полей**

Способы и мероприятия по защите	Эффективность архитектурно-строительных, градостроительных решений и мероприятий
Ориентация зданий торцами к источнику излучения	Интенсивность ЭМП в помещениях в 10 раз ниже, чем в зданиях, ориентированных к нему фасадом
Расположение окон верхних этажей близлежащих зданий значительно ниже основания излучающей антенны	Максимальные значения интенсивности ЭМП приходится на расстояние 100...500 м, а затем идет плавное понижение в пределах нормативных уровней
Наличие на фасаде здания различных затеняющих элементов: козырьков, лоджий, солнцезащитных устройств, экранов и т.д.	Значительно повышается защитная функция наружной стены. Так, в комнате с лоджией максимальная интенсивность ЭМП отмечается непосредственно перед остекленной балконной дверью, а в комнате без лоджии максимальные значения ЭМП наблюдаются на расстоянии 1,5...2 м от окна
Оптимизация конструктивного решения наружных ограждений	Наибольшую величину ослабления ЭМП в помещениях здания обеспечивают железобетонные наружные стены и крыши, несколько меньшую – кирпичные стены с металлической кровлей, минимальную – деревянные, каркасно-щитовые стены с черепичными или шиферными кровлями
Оптимизация конструктивного решения светопроемов:	Двойное остекление ослабляет ЭМП по сравнению с одинарным более чем в 1,5 раза
количество слоев остекления	
тип стекла	Применение радиозащитных стекол с покрытием из двуокиси олова обеспечивает высокую отражающую способность оконного заполнения
положение створок окна	При открывании окон с целью аэрации помещения или чистки стекол интенсивность ЭМП может возрасти в 2...3 раза

**7.6. Выделения химических токсических веществ
с поверхности ограждающих конструкций**

В процессе выделения этих веществ повышается концентрация токсинов во внутренней воздушной среде. Для большого количества новых химических веществ, используемых в ограждающих конструкциях и отделочных материалах, пока нет полной оценки их биологического воздейст-

вия на человеческий организм. Вместе с тем открываются новые неблагоприятные свойства некоторых традиционных строительных материалов.

В качестве вредных для здоровья людей веществ, используемых в ограждающих конструкциях, рассматриваются асбест, полимерные материалы на основе низкомолекулярных соединений и выделяющиеся из них ингредиенты полимеров (растворители, стабилизаторы, красители, антистатики и др.), лаки, краски, клеи, мастики, в состав которых входят синтетические компоненты или тяжелые металлы.

Асбестоцементные изделия в отечественной практике строительства применяют для изготовления ограждающих конструкций (наружные стены, кровли, ограждения балконов). Асбестовое волокно и пыль, выделяемые при эксплуатации из асбестоцементных элементов, при попадании в бронхи и легкие человека могут оказать сильное канцерогенное воздействие. Поэтому при проектировании и эксплуатации таких ограждений должны быть приняты меры по надежной изоляции их поверхности от воздушной среды (оклейка в заводских условиях поверхности и торцов асбестоцементного элемента алюминиевой фольгой толщиной 0,1...0,8 мм с использованием синтетического клея, эпоксидных смол или клеящих пленок на подложке из ткани, сетки).

В ограждающих конструкциях широкое распространение получили полимерные материалы на основе смол ПВХ, из которых изготавливают листовые изделия для отделки стен и потолков общественных и производственных зданий, ПВХ-пленки для оклейки стен, дверей, перегородок. При эксплуатации этих материалов в воздушную среду помещений выделяются вредные для организма вещества: бензол, этилбензол, толуол и др., которые при значительных концентрациях приводят к постепенному ослаблению функций внутренних органов человека и его нервной системы.

Другим источником вредных поступлений в воздух помещения являются древесно-плиточные материалы (древесно-стружечные, древесноволокнистые плиты и др.), а также мебель, для изготовления которых применяют клеи на основе фенолформальдегидных и мочевиноформальдегидных смол. Эти материалы выделяют в воздух помещений очень вредные для здоровья фенол и формальдегид, вызывающие хронические отравления и аллергические реакции.

Содержание в воздухе токсических веществ резко повышается из-за чрезмерной насыщенности помещений полимерными материалами. Последнюю определяют как частное от деления общей поверхности полимерных покрытий на объем этого помещения. Выполненные гигиенистами обследования жилых и ряда общественных зданий, в том числе дошкольных учреждений, выявили, что концентрации фенола, формальдегида и других токсических веществ превышали величину ПДК в 2,6...5,7 раза, а показатель насыщенности находился в пределах 0,1...2,05 м²/м³. Результаты об-

следований показали, что увеличение показателя насыщенности помещения полимерными материалами на $0,5 \text{ м}^2/\text{м}^3$ вызывает возрастание содержания основных токсических веществ в воздухе помещений в 2 и более раза; в жилых помещениях насыщенность полимерными материалами, равная $1,35 \text{ м}^2/\text{м}^3$, увеличивает концентрации этих веществ в несколько раз больше ПДК.

Уменьшения концентрации токсических химических веществ в воздухе помещений можно достичь путем:

- применения конструктивных решений ограждений, обеспечивающих постоянное вентилирование внутреннего воздуха и ранее рекомендованных для снижения уровня радонового излучения;

- снижения показателя насыщенности полимерными материалами интерьера помещения;

- устройства тонких газонепроницаемых отделочных слоев из натуральных материалов, препятствующих попаданию токсических веществ во внутреннюю воздушную среду;

- использования для очистки воздуха озона (с помощью озонатора), вступающего с токсическими веществами в окислительные реакции с образованием двуокси углерода, паров воды и других легко удаляемых веществ.

8. ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

8.1. Долговечность ограждающих конструкций и ее повышение архитектурно-строительными мероприятиями

Воздействия внешней и внутренней среды вызывают периодические изменения температурно-влажностного состояния наружных ограждающих конструкций, что является причиной ухудшения их теплотехнических свойств, а также появления термических усадочных напряжений, постепенно разрушающих структуру материала ограждения. При этом в микро-трещинах и в кавернах материала, заполняемых влагой и льдом, возникают расклинивающие давления, которые приводят к дальнейшему раскрытию и образованию новых трещин.

В условиях агрессивной среды в порах и капиллярах материала могут образовываться кристаллогидраты солей, которые способны ускорить процесс коррозии в несколько раз и стать причиной его интенсивного разрушения. Под воздействием суточных колебаний температуры конденсационная влага может образоваться на поверхности ограждения в условиях относительно сухого воздуха. Это происходит тогда, когда поверхность охлаждается до температуры точки росы или ниже нее, что приводит к полному насыщению водяными парами приграничного слоя воздуха.

Материал наружного ограждения должен обладать влагостойкостью, если он подвергается последовательным увлажнениям и высыханиям при положительной температуре; морозостойкостью, если во влажном состоянии на него воздействуют колебания температуры, переходящие через точку замерзания; коррозиестойкостью, если на него воздействуют агрессивные вещества в условиях влажной среды.

Стойкость материала ограждения к перечисленным выше воздействиям может быть обеспечена выполнением конструктивных мероприятий и соблюдением определенных закономерностей, влияющих на образование структуры этого материала [80]. Для климатических районов с низкой температурой наружного воздуха, холодными ветрами и интенсивной солнечной радиацией в зимнее время характерны резкие колебания температуры и большое число ее переходов через нуль в наружном поверхностном слое ограждения.

Такие же колебания температуры наблюдаются в наружных стенах, обращенных на южную и юго-западную стороны горизонта. Возникающие при этом термические напряжения на отдельных участках наружной поверхности ограждения и в стыковых соединениях могут превосходить рас-

четное сопротивление на растяжение материала, использованного в конструкции.

При этом стыковые соединения повреждаются, если их прочность недостаточна. В дальнейшем наблюдаются постоянные сезонные смещения вертикальных ограждающих конструкций, которые для многоэтажных зданий могут составлять 3...10 мм, в зависимости от состояния стыков.

В табл. 8.1 показаны факторы влияния на долговечность наружных ограждающих конструкций.

Т а б л и ц а 8 . 1

Факторы повышения долговечности наружных ограждающих конструкций и их материалов

Причины снижения долговечности	Факторы повышения долговечности
1	2
<p>В композиционных строительных материалах при колебаниях температуры в толще ограждающей конструкции на границе компонентов появляются напряжения, вызывающие структурное разрушение материала. Величина этих напряжений прямо пропорциональна градиенту температуры и разности коэффициентов термического расширения α_T</p> <p>Развитие трещин в крупноразмерных ограждающих конструкциях из ячеистого бетона</p> <p>Нарушение сроков текущих и периодических ремонтов</p>	<p>Подбор приблизительно одинаковых величин коэффициентов термического расширения α_T компонентов (вяжущего и заполнителя) при конструировании и изготовлении ограждений. Использование более морозостойких материалов</p> <p>Введение поверхностно-активных веществ в структуру материала</p> <p>Объемная гидрофобизация материала</p> <p>Из автоклавных ячеистых бетонов газобетон по сравнению с пенобетоном обеспечивает большую трещиностойкость таких конструкций. Неавтоклавные бетоны с точки зрения долговечности несколько предпочтительнее, чем автоклавные</p> <p>Ограждающую конструкцию проектируют из ремонтпригодных элементов и слоев с примерно одинаковыми сроками службы. Если это не представляется возможным, то конструктивные элементы с меньшей долговечностью располагают на поверхности ограждения или вблизи нее для удобства проведения их осмотра или ремонта</p>

1	2
Попеременное увлажнение участков наружных стен атмосферной влагой	Проектирование рациональной системы водоотвода с крыш и ее периодический ремонт. Нанесение на поверхность стен защитных покрытий, изоляционных слоев, облицовок, гидрофобных водоотталкивающих составов, защитно-декоративных слоев из раствора, облицовочных плиток и др.
Воздействие химически агрессивных веществ	Защита поверхности ограждающих конструкций химически стойкими синтетическими лакокрасочными покрытиями, облицовками из керамических плиток, кислотоупорного кирпича, обмазочной и оклеечной изоляцией на основе полимерных материалов, силикатных кислотоупорных составов, рулонных материалов

Морозостойкость материала повышают на технологической стадии производства различными способами: тщательным уплотнением смеси, уменьшением водоцементного отношения, применением поверхностно-активных веществ (ПАВ). Введение ПАВ приводит к образованию в структуре материала равномерно распределенных замкнутых пор, что уменьшает доступ влаги в толщу конструкции, а также способствует вытеснению с поверхности частиц материала воздушной пленки, снижающей сцепление между ними.

Объемная гидрофобизация, например, ячеистого бетона при введении добавок в сырьевую смесь позволяет использовать ограждающие конструкции из этого материала в зданиях с влажностью до 75 % без дополнительной защиты. При этом прогнозируемая долговечность гидрофобного эффекта составляет около 50 лет.

Сложные условия эксплуатации обуславливают относительно быстрое изнашивание и потерю функциональных свойств *кровельных материалов*.

В совмещенных неветилируемых покрытиях, широко применяемых в промышленных и некоторых гражданских зданиях, в процессе диффузии водяного пара происходят скапливание и рост давления паровоздушной смеси под кровельным ковром, что приводит к образованию местных вздутий ковра и его интенсивному разрушению. Воздействие переменных температур и влажности также приводит к повреждению кровельного покрытия, вызывает деформации кровельных панелей, ослабляет структуру материала кровли и других конструктивных слоев при циклическом повторении процессов оттаивания-замораживания.

В табл.8.2 изложены причины снижения и факторы повышения долговечности кровель.

Т а б л и ц а 8 . 2

Факторы повышения долговечности кровель и оснований под кровлю

Причины снижения долговечности	Факторы повышения долговечности
Периодическое раскрытие и закрытие трещин и швов в основании кровли на величину до 1,5...3мм под влиянием температурных деформаций, что приводит к разрыву кровельного ковра. При разности температурных деформаций основания (или утеплителя, выполняющего его роль) и материала кровли возникают напряжения сдвига, а также деформации слоя утеплителя в случае недостаточной его прочности	Для погашения напряжений в материале кровли выполняют не сплошную, а полосовую или точечную приклейку нижнего слоя рулонного ковра к основанию на участках швов. Расстояние между местами приклейки ковра обычно достаточно большое и назначается в пределах 80...100 см, что, с одной стороны, обеспечивает протяженную базу деформаций ковра, а с другой – прочность соединения с основанием на отрыв при воздействиях ветра
Рост напряжений в кровельном ковре над стыками кровельных панелей	Прокладка полосы рулонного материала над стыками кровельных панелей под нижним слоем ковра, с приклейкой на одной стороне стыка (шва)
Рост давления водяного пара под кровлей	Наряду с частичной приклейкой кровельного ковра, в конструкции кровли предусматривают возможность свободного выхода из-под нее в атмосферу паровоздушной смеси, например, с помощью паровентиляционных вытяжек, устроенных непосредственно на поверхности ковра в виде трубок
Образование трещин в основании под кровлей под воздействием большой разницы температур наружного воздуха в дневное и ночное время	Устройство в стяжках и в монолитной теплоизоляции деформационных швов

Уменьшить влияние температурных деформаций можно с помощью конструктивных мероприятий, а также путем использования новых, более долговечных и эластичных материалов в покрытии

От долговечности и надежности основания под кровлю в значительной степени зависит и долговечность самой кровли.

В отечественной практике строительства широко распространены рулонные кровли из битумных материалов, которые имеют небольшую долговечность. Данные обследований показывают, что срок эксплуатации этих кровель до капитального ремонта в зависимости от климатических усло-

вий, вида кровельных материалов и качества выполнения работ составляет 5...10, максимально 12 лет.

Улучшению эксплуатационных качеств рулонных материалов способствует и использование легкоплавких мастик, так как, имея высокую эластичность, они оказывают эффект самозалечивания при возникновении трещин, а также обеспечивают некоторую допропитку картонной основы этих материалов. В условиях низких температур (ниже -15°C) деформации кровельного ковра зависят от свойств битуминозных материалов. Чем ниже их вязкость, тем меньше деформируется ковер. Имея в составе легкоплавкие мастики, он испытывает в два-три раза меньшие температурные деформации, чем ковер с применением мастик на базе твердых битумов.

Устройство защитного слоя из мелкого гравия по легкоплавкой мастике способствует снижению теплового воздействия солнечной радиации на рулонный ковер, уменьшению температурных деформаций его слоев и скорости старения материалов.

Долговечность кровель из наплавляемых рубероидов зависит от качества основы и покровного слоя этих материалов, от толщины наплавляемого слоя, от способа наклейки. Надежные эксплуатационные качества кровли обеспечивает армирующая основа из минеральных или синтетических волокон, в том числе тканевая из стеклоткани или из двух слоев стеклоткани, а также покровные слои из мягких битумов с добавкой полимеров. При эксплуатации кровель температурно-влажностные воздействия, чередующиеся с циклами замораживания и оттаивания, могут вызвать такие изменения в структуре рулонных материалов, которые снижают их прочность в несколько раз. Но у рулонных материалов с основой из минеральных или синтетических волокон наблюдается незначительная потеря прочности (до 20 %).

Относительно высокие температуру размягчения (более 100°C) и эластичность имеет битумно-полимерная композиция в покровном слое. Используемые сейчас в покровных слоях твердые битумно-минеральные составы размягчаются при температурах до $+88^{\circ}\text{C}$ и становятся хрупкими при температурах до -2°C .

При толщине наплавляемого слоя не менее 2 мм достигается надежная склейка слоев кровли между собой и с основанием. Способ наклейки наплавляемых рубероидов с помощью растворителей повышает надежность кровельного ковра в отличие от огневого способа, повреждающего его структуру.

Выбор малого уклона ската (1,5...2,5 %) кровель из традиционных рулонных материалов способствует долговременному сохранению их эксплуатационных качеств, так как они наиболее полно соответствуют физико-химическим свойствам клеящих мастик и реализуют возможности защитного слоя.

Основные причины ухудшения теплотехнических качеств ограждающих конструкций. Постепенные структурные разрушения материала ограждающей конструкции снижают ее теплозащитные качества. Для однослойного ограждения снижение прочностной и теплоизолирующей функций происходит одновременно, поскольку они совмещены в одной конструкции. В многослойной ограждающей конструкции утеплитель, как правило, выполняют из менее прочного материала и в то же время более проницаемого (минеральная вата, пенопласт и др.), поэтому он может потерять свои основные функциональные свойства гораздо раньше других конструктивных слоев, если они недостаточно надежно защищают его от неблагоприятных воздействий окружающей среды.

Основное назначение наружной ограждающей конструкции состоит в обеспечении теплозащиты здания. Если в результате деструкции или чрезмерного увлажнения утеплителя наблюдается недопустимое повышение его теплопроводности, то наступает состояние отказа теплоизоляционного слоя, хотя другие конструктивные слои ограждения могут находиться в хорошем техническом состоянии.

Таким образом, потеря наружным ограждением необходимых теплотехнических качеств является причиной или его полной замены, или проведения восстановительных работ. Основными причинами потери теплотехнических качеств наружных ограждений являются ошибки в их проектировании, некачественное изготовление или возведение, неправильная эксплуатация.

8.2. Восстановление теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций

При выборе оптимальных вариантов проектных решений ограждающих конструкций обращается особое внимание на то, дают ли они экономии тепловой энергии. Однако она может быть сведена к нулю в случае неправильной эксплуатации или применения нерациональных методов восстановления конструкций ограждений. Вследствие этого эксплуатационные расходы топлива на отопление жилых и общественных зданий превышают проектные в среднем на 25 %.

Применяемые в проектной и строительной практике методы и способы восстановления эксплуатационных свойств и теплозащитных качеств ограждающих конструкций дают определенный эффект по экономии тепловой энергии. Так, дополнительное утепление стен с использованием эффективных утеплителей позволяет уменьшить теплопотери через конструкцию на 15...20 %. Проведение работ по восстановлению герметичности стыков панельных зданий и уплотнению притворов в оконных и дверных проемах в большинстве случаев не требует значительных капитальных за-

трат, но дает возможность снизить теплопотери здания на 60...70 %. При инфильтрации проникающий через неплотности холодный воздух вызывает большие дополнительные теплопотери на обогрев здания.

Теплопотери через притворы и сопряжения традиционных створчатых окон могут быть в 12...18 раз больше, чем через окна, не имеющие створок. Это говорит о необходимости тщательного уплотнения притворов окон упругими уплотняющими прокладками, что и предусмотрено в современных окнах типа стклопакетов. Такое же мероприятие для наружных дверей уменьшает примерно в 1,5 раза приходящиеся на них теплопотери.

8.2.1. Элементы наружных стен

Небольшие повреждения внешнего слоя наружных стен (трещины, отколы, отслоения) приводят к дальнейшим, более серьезным нарушениям целостности конструкции, повышению ее воздухопроницаемости, росту влажности материала, снижению морозостойкости.

При обработке участков бетонной и кирпичной поверхности с мелкими трещинами выполняют ее пропитку специальными составами, устойчивыми к щелочным воздействиям бетона. Пропитку осуществляют таким образом, чтобы гидрофобный состав как можно глубже проник в толщу конструкции без образования на поверхности пленки. Пропиточный состав проникает в капиллярно-пористую структуру материала на глубину 2...10 мм, придавая поверхности водоотталкивающие свойства. При этом диффузия водяных паров практически не нарушается, т.е. эксплуатационная и строительная влага может свободно диффундировать наружу. Водоотталкивающий эффект создается за счет повышения величины граничного поверхностного натяжения между частицами материала и капельно-пленочной влагой. Поэтому для пропитки бетонных поверхностей используют материалы, которые обеспечивают максимальное граничное поверхностное натяжение: силиконовые, полиуретановые, эпоксидные и акриловые смолы, силиконаты и силаны, а иногда и парафиновые растворы, хлорированный каучук. Из перечисленных материалов наибольшей степенью гидрофобности обладают силиконовые смолы.

В строительной практике нередко восстановление теплотехнических свойств наружных ограждений выполняют *методом сушки*. Его применяют, когда в результате ошибок при проектировании, изготовлении и эксплуатации материал ограждения имеет избыточное увлажнение от строительной, сорбционной, атмосферной или капиллярной влаги. В практике строительства используют следующие виды сушки: сушку подогретым воздухом, радиационную, эксфильтрационную, сушку электропрогревом, вакуум-сушку, сушку током высокой частоты, электроосмотическую. Помимо этих видов сушки, требующих значительных энергозатрат, сушку материала ограждающей конструкции можно выполнить конструктивным

способом путем устройства вентилируемых воздушных прослоек или каналов в конструкции ограждения. Конструктивный способ обеспечивает гораздо более медленное удаление влаги из конструкции, но он не требует затрат тепловой или электрической энергии на его выполнение.

Восстановление теплотехнических свойств наружных ограждений методом *дополнительного утепления* широко распространено в строительной практике. К этому методу обращаются, когда наружная стена имеет недостаточное термическое сопротивление по различным причинам: завышение плотности утеплителя по сравнению с проектной величиной, наличие больших по площади участков с теплопроводными включениями и увлажненных мест. Последнюю причину можно устранить методом сушки, но иногда его использование приносит только кратковременный положительный эффект.

Дополнительное утепление наружного ограждения является дорогостоящим средством по восстановлению и повышению теплоизоляционных качеств конструкции. В случае, если дополнительное утепление выполнено из материала, имеющего повышенную огнестойкость, оно выполняет также функцию противопожарной защиты.

В современной практике строительства широко применяется способ устройства дополнительного утепления с наружной стороны стены, имеющий следующие важные преимущества:

1. Улучшение температурно-влажностного режима ограждающей конструкции.
2. Повышение теплоаккумулирующей способности конструкции.
3. Механизация производства ремонтно-строительных работ.
4. Проведение ремонтных работ без выселения жильцов.

В настоящее время известны следующие способы дополнительного утепления стен:

1. Теплоизоляционный слой из эффективного утеплителя с наружной поверхности стены, защищенный экраном на отnose или слоем армированной штукатурки.
2. Теплоизоляционная штукатурка.
3. Напыление пенополиуретановых композиций.

Способ дополнительного утепления стен с использованием *экрана на отnose* относится к одному из наиболее перспективных. Конструкция утепления состоит из слоя эффективного утеплителя и защитно-декоративной наружной оболочки. В качестве наружного облицовочного слоя используют плиты на основе пластмасс с защитным декоративным покрытием, алюминиевые и стальные профилированные, железобетонные плиты с декоративной лицевой поверхностью. Экран предохраняет стену от воздействия дождя и ветра, а также дает возможность устроить у наружной поверхности ограждения вентилируемую воздушную прослойку.

На практике применяют механическое крепление облицовки с помощью анкеров и профильных элементов или смешанное крепление с предварительным приклеиванием слоя утеплителя (рис. 8.1).

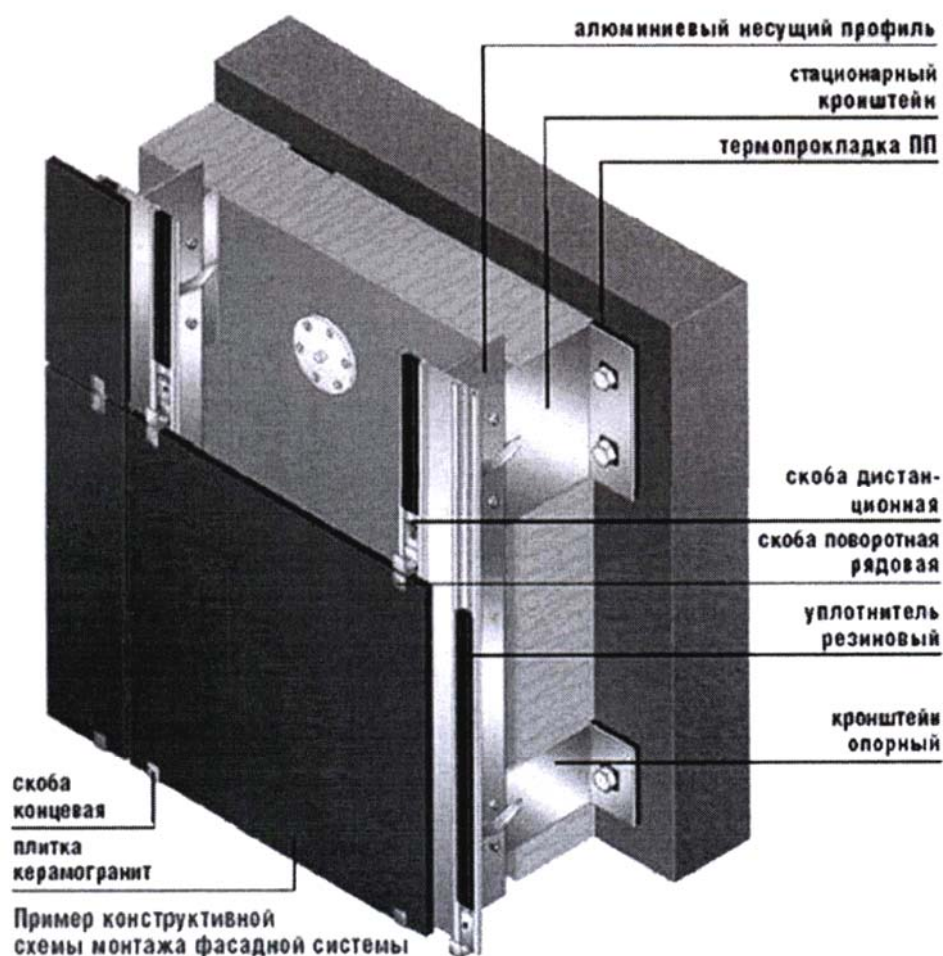


Рис. 8.1. Способ дополнительного утепления стен с использованием экрана на отnose

В качестве утеплителей чаще всего используют плитные пористые теплоизоляционные материалы, в том числе минеральную вату и пенополистирол. Плитный утеплитель приклеивают к стене или устанавливают враспор между элементами крепления, которые фиксируются дюбелями или самоанкерующимися болтами.

Облицовочные элементы в отличие от штукатурных слоев являются промышленными изделиями, имеют качественную отделку поверхности, легко ремонтируются и заменяются в процессе эксплуатации.

Для способа дополнительного утепления стен с использованием *армированной штукатурки*, так же, как и для способа с экраном, толщину утеплителя принимают исходя из величины требуемого термического сопротивления ограждения. Штукатурка выполняет роль отделочного слоя и за-

щищает от атмосферных воздействий. Для предотвращения образования трещин в штукатурке ее армируют стальными сетками или сетками из стекловолокна. Для защиты последних от щелочной среды цементного камня иногда производят покрытие волокон поливинилхлоридной оболочкой. Также используют сетки из полиамидного волокна, отличающиеся высокой щелочестойкостью и прочностью (рис. 8.2).

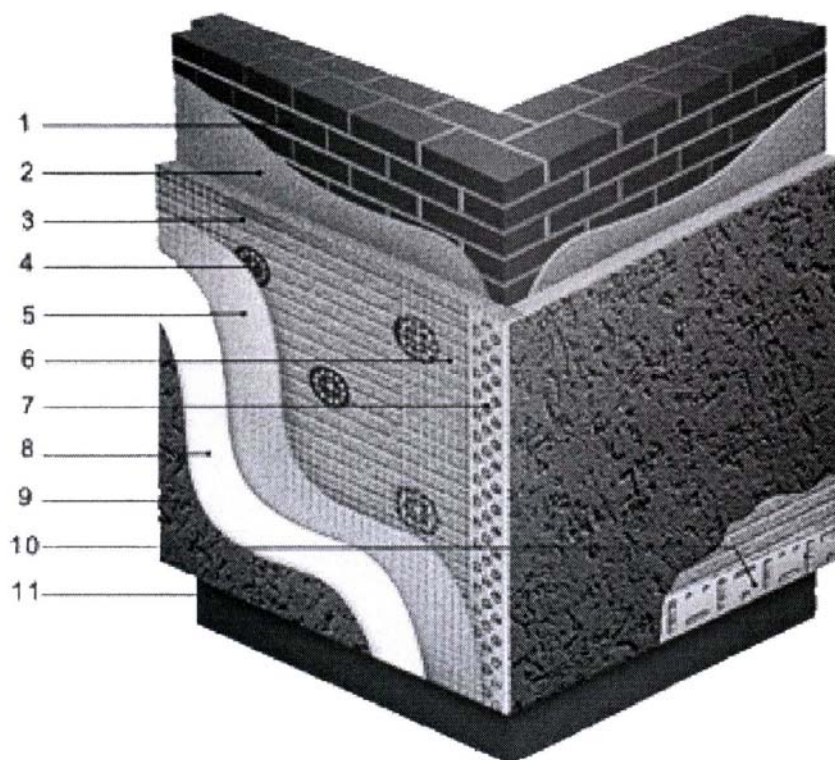


Рис. 8.2. Способ дополнительного утепления стен с использованием армированной штукатурки:

- 1 – наружная стена здания; 2, 9 – грунтовка; 3, 8 – клеевой состав;
 4 – утеплитель из минеральной ваты или пенополистирола;
 5 – армирующая сетка; 6 – дюбель; 7 – профиль для защиты угла;
 10 – штукатурка; 11 – фасадная краска

К наружной поверхности стены плитный утеплитель крепят механическим способом или приклеивают. Однако часто сочетают сразу оба способа, так как клеевое соединение нередко оказывается ненадежным. Механическое крепление выполняют с помощью анкерных штырей длиной не менее 10 см. Для этого в стене высверливают гнезда диаметром 30 мм с шагом 1 м, которые затем заделывают цементным раствором состава 1:3. Штыри имеют захваты для подвешивания конструктивных сеток. Приклеивают плитный утеплитель горячими битумными мастиками или полимерцементными составами.

В последнее время получил распространение механический способ крепления теплоизоляционных плит с помощью металлических или пластмассовых профилей, которые имеют отбортовку и крепятся к стене стальными анкерами. Оштукатуривание утеплителя выполняют обычным или механизированным способом.

Данный способ утепления стен позволяет проводить ремонтную работу на неровном или потрескавшемся основании, т.е. он не предъявляет специальных требований к защищаемой поверхности. Однако этот способ трудоемок и требует проведения большого объема «мокрых» процессов, что препятствует осуществлению работ в зимнее время.

Для приклеивания плит из пенополистирола к поверхности стены, а также армирующих сеток к поверхности утеплителя используют клеящие составы из смеси латексного клея и шлакопортландцемента. Сетка из стекловолокна, так же, как и штукатурка, позволяет воспринимать температурные напряжения в более тонком защитном слое, нанесенном на утеплитель. Этот слой толщиной 3...6 мм выполняет функцию гидрозащиты и придает поверхности стены определенную цветовую окраску благодаря добавлению в раствор пигментов.

Устройство *теплоизоляционной штукатурки* представляет собой простой способ утепления и отделки наружных стен в процессе эксплуатации. Этот способ неэффективен при использовании в наружных стенах, в которых процесс влагонакопления, а следовательно, и ухудшения теплотехнических качеств носит прогрессирующий характер. Для таких стен целесообразно применение вышеописанного способа дополнительного утепления с помощью экрана на отnose, который обеспечивает выход влаги из материала ограждения через вентилируемые прослойки или каналы.

Способ *напыления пенополиуретановых композиций* обладает всеми преимуществами способа утепления теплоизоляционной штукатуркой, но он небезопасен в пожарном отношении, так как при воздействии открытого огня материал этой композиции относительно быстро возгорается.

Поскольку незащищенная поверхность этого теплоизоляционного слоя под влиянием солнечного облучения и других климатических факторов теряет цвет, приобретая неравномерную темно-бурую окраску, и начинает постепенно разрушаться, то поверхность этой композиции необходимо защищать долговечными покрытиями.

Мероприятия по *восстановлению герметичности стыковых соединений* стен в значительной степени влияют на теплопотери здания, микроклимат помещений, долговечность ограждающих конструкций. В целях успешного использования разнообразных способов восстановления герметичности стыковых соединений, а также паро-, гидроизоляции наружных ограждений необходимо учитывать изменение теплофизических свойств материала ограждения, а также предполагаемые деформации защищаемой конструкции в различных условиях эксплуатации и воздействий климата. При этом выбор типа герметизирующих материалов, толщины защитных и

пароизоляционных слоев устанавливают по показателям требуемого и фактического сопротивления воздухо- и паропрооницанию.

Дефекты стыковых соединений в сборном домостроении являются одной из основных причин ухудшения теплозащитных качеств наружных ограждающих конструкций (табл. 8.3).

Т а б л и ц а 8.3

Дефекты стыковых соединений и их описание

Наименование дефектов	Описание дефектов
Неправильное проектное решение конструкции стыка стеновых панелей	Несоответствие применяемого стыка климатическому району строительства
Несоблюдение проектных допусков при изготовлении и монтаже стеновых панелей	При отклонении размеров панелей и профилей их стыков ширина стыкового соединения или увеличивается до 40...70 мм, или уменьшается до нескольких миллиметров. В результате перекоса панелей при монтаже может возникнуть неравномерная (клиновидная) форма стыка, что влечет за собой отсутствие обжатия эластичного вкладыша в широкой части стыка
Некачественная заделка стыкового соединения	Неправильная укладка или использование некачественных элементов стыка: теплоизоляционных вкладышей и гидроизоляционного материала (водоотбойная лента, герниковый жгут, тиоколовая мастика и т.д.)
Нарушена герметичность примыканий стеновых элементов к ограждающей конструкции	Некачественная заделка по контуру оконных и дверных коробок, а также балконных плит в стену

Мероприятия по восстановлению герметичности стыковых соединений (табл. 8.4) выполняют с помощью герметизирующих и уплотняющих материалов: мастик, пенополиуретановых композиций, погонажных изделий.

Т а б л и ц а 8.4

Восстановление герметичности стыковых соединений

Наименование мероприятия	Порядок его выполнения
1	2
Подготовительные работы по восстановлению герметичности стыковых соединений	Расчистка швов от поврежденного раствора, продувка поверхности, просушка полости и устья стыков.
Заделка стыков с помощью мастик	Выполняют с помощью тиоколовых или силиконовых мастик, которые нагнетают в полость подготовленного стыкового соединения до образования слоя толщиной 20...30 мм и шириной не менее 20 мм. С целью повышения долговечности мастичного слоя выполняют его армирование уплотняющими прокладками. Упомянутые составы мастик наносят на сухие поверхности стыка при температуре наружного воздуха не ниже -15°C

Окончание табл. 8.4

1	2
Восстановление герметичности стыков с помощью оклеенной герметизации	Выполняют составами на основе бутилкаучуковых композиций, армированных стеклотканью. Полоса стеклоткани шириной не менее чем на 10 см больше ширины стыка приклеивается по первому гидроизоляционному слою с провисанием по оси стыка на глубину 0,8...1,5 см и покрывается вторым слоем композиции.
Напыление пенополиуретановой композицией	Применяется для стыковых соединений, полностью заполненных цементным раствором. Поверхность нанесенного слоя защищают атмосферостойким лакокрасочным или другим покрытием.
Восстановление герметичности стыков панелей из металлических и асбоцементных обшивок, а также стыков оконных и дверных проемов	Стыки заполняются пенополиуретановыми композициями. Нагнетание смеси производят через небольшие отверстия, просверленные с небольшим шагом по высоте стыка. Вспенивание и отверждение смеси происходит в полости стыка
Защита стыков от воздействия дождя	Выполняют их гидрофобизацию водным раствором кремнийорганической жидкости в условиях сухой погоды и положительной температуры
Восстановление герметичности деформационных швов в наружных стенах	Выполняют с помощью пористых полимерных прокладок (пороизол, гернит). Обжатие прокладок должно быть на 30...50 % больше их первоначального состояния. Шов перекрывают полосами стеклоткани, которые приклеивают на тиоколовой мастике, а затем слоем рубероида
Ремонт стыковых соединений стеновых панелей и балконных плит	Применяют нетвердеющие мастики, которые вводят в расчищенную и высушенную полость стыка пневматическим или ручным шприцем. Стык заполняют плотным цементным раствором

Снижение уровня *гидро- и пароизоляции* наружной ограждающей конструкции может привести к значительному ухудшению теплотехнических качеств ограждения. Например, быстрое повышение влажностного состояния материала конструкции вплоть до сверхсорбционного может происходить при расположении на ее наружной поверхности плотного фактурного слоя с низкой паропроницаемостью или при замене долговечного пароизоляционного слоя на менее долговечный.

К основным способам восстановления гидроизоляции наружной поверхности стены относятся: гидрофобизация, торкретирование наружной поверхности, нанесение на нее облицовочного слоя, синтетических смол, рулонных материалов (табл. 8.5). Эти способы используют для защиты стен от переувлажнения и сквозных промоканий под воздействием атмосферных осадков и капиллярной влаги, в также в определенной мере для уменьшения загрязняемости их поверхности и предотвращения появления высолов.

Таблица 8.5

Восстановление гидро- и пароизоляции наружных ограждений

Наименование мероприятия	Порядок его выполнения
1	2
Подготовительные работы по гидроизоляции наружной поверхности стен	Проводят после завершения всех ремонтных работ по заделке трещин и отколов, герметизации стыков и участков стен в зонах цокольных панелей, карнизов, оконных проемов, и др.
Гидрофобизация стен с целью уменьшения открытой пористости, увеличения количества замкнутых пор, уменьшения водопоглощения, повышения морозостойкости материала, сохранения достаточной паропроницаемости	Используют кремнийорганические жидкости до полного насыщения поверхности, что обеспечивает сохранение свойств (упомянутых в первом столбце таблицы) в течение 4...6 лет эксплуатации
Гидрофобизация поверхности стен и стыков наружных ограждений из пено-, газобетона	Гидрофобизация с помощью вышеприведенных способов дает наибольший эффект именно для таких материалов, которые в увлажненном состоянии имеют недостаточную стойкость к циклическим колебаниям температуры, переходящим через нуль
Торкретирование поверхности стен	Выполняют путем нанесения на поверхность стены цементно-песчаного раствора состава 1:2 или 1:3 при давлении не менее $4 \cdot 10^5$ Па. Толщина первого слоя раствора 10...15 мм, а второго и третьего – 5...10 мм
Облицовка наружной поверхности стены	Делают из керамических плиток, листовых материалов, штукатурки, мозаики, плиток из натуральных материалов. Полимерные смолы инъецируют в образовавшиеся пустоты. Плитки наклеивают на мастиках (битумно-силикатная, цементно-латексная и др.) слоем толщиной 2...3 мм
Гидроизоляция с помощью синтетических смол	На наружную поверхность кистью или пистолетом наносят жидкие составы из эпоксидной смолы, сополимера винилхлорида и др. Они отличаются долговечностью, водостойкостью, но и большей стоимостью и токсичностью.
Защита участков конструкции, которые соприкасаются с грунтом	Выполняют битумную грунтовку и применяют окрасочные составы на основе битума, рулонные материалы (битумсодержащие и синтетические), герметизирующие шпалы на цементном вяжущем, защитные слои из водонепроницаемого раствора или бетона и др.
Восстановление горизонтальной (противокапиллярной) гидроизоляции стен	Используют как наиболее известный электротермический способ восстановления горизонтальной гидроизоляции стен. В стене на требуемом уровне просверливают отверстие диаметром 30 мм, куда вводят карборундовый электрод. Роль горизонтальной гидроизоляции выполняет остывший после расплавления слой материала стены

8.2.2. Элементы крыш, покрытий, кровль

При восстановлении верхней ограждающей конструкции здания проводят работы по замене отдельных элементов кровли, наращиванию кровельного ковра, его усилению в местах примыканий, восстановлению стяжки, пароизоляции, утеплителя, усилению или замене отдельных панелей покрытия.

Восстановление *традиционных кровель* начинают с вскрытия и расчистки места вздутий и повреждений, просушки поверхности стяжки, ее грунтовки и приклейки отогнутых частей на горячей битумной мастике, производят замену защитных фартуков из оцинкованной стали. В местах примыканий отогнутые от вертикальных участков стен части кровельного ковра очищают, просушивают, грунтуют и приклеивают к стене горячей битумной мастикой, предварительно прибив к брусу загнутый край ковра. Предварительно устраивают усиление кровельного ковра с армированием 1...2 слоями стеклоткани, которые наклеивают по свеженанесенным слоям битумной эмульсионной мастики. После нанесения дополнительного защитного слоя из битумной эмульсионной мастики на его поверхности рассеивают гравийную посыпку.

При восстановлении *современных кровель*, например ковровых, из полимерных пленочных материалов наклеивают заплаты и дополнительные полотнища из полимерной пленки, настилают подкладочный слой из этого же материала под гравийную засыпку.

Необходимость замены кровельных железобетонных панелей может возникнуть при значительном ухудшении их эксплуатационных свойств в результате нерегулярных ремонтов кровли или изменения технологического процесса в зданиях промышленного назначения, повлекшего за собой изменение температурно-влажностных параметров внутренней воздушной среды. Многочисленные протечки кровли, высокая относительная влажность внутреннего воздуха при долговременном воздействии вызывают интенсивную коррозию арматуры, отслоение защитного слоя панелей с незащищенной поверхностью. В кровельных плитах из ячеистого или легкого бетона процесс деструкции материала протекает более заметно, чем в конструкциях из тяжелого, менее проницаемого бетона.

Необходимость *восстановления теплозащитных качеств конструкций крыши (покрытия)* возникает при недопустимом снижении ее теплотехнических свойств, появлении случаев отсыревания и промерзания ее элементов, ухудшении температурно-влажностного режима помещений верхнего этажа. Основными причинами этого являются изменение структуры или состояния утеплителя (уплотнение, просадка, деструкция материала, переувлажнение), ухудшение работы вентиляции в прослойках или каналах конструкции, ошибки и недоработки со стороны проектировщиков, технологов, монтажников, эксплуатационников.

В зависимости от конструктивного решения крыши (покрытия) причины, влияющие на состояние ее тепло-, пароизоляции и других элементов, имеют свои особенности. Так, если надежность пароизоляционного слоя в неветилируемом совмещенном покрытии играет важную роль, то для железобетонных крыш с холодным и открытым чердаком она имеет второстепенное значение. Для железобетонных крыш с любым типом чердака, а также для покрытий с вентиляцией подкровельного слоя важное место отводится эффективной работе системы вентиляции в чердачном пространстве, в вентиляционных блоках и шахтах, в прослойках и каналах.

При ухудшении теплоизоляционных качеств утеплителя участки верхнего ограждения крыш с холодным чердачным пространством могут подвергнуться промерзанию в зимнее время, а при наличии системы наружного водоотвода – обледенению в местах карнизных свесов.

Восстановление теплотехнических качеств конструкции крыши (покрытия) включает в себя следующие виды работ:

- повышение теплоизолирующей функции этой конструкции (сушка и замена утеплителя, дополнительное утепление плит перекрытия и стен чердака);
- улучшение работы вентиляционной системы в конструкции крыши;
- восстановление эксплуатационных качеств отдельных элементов конструкции – кровли, стяжки, пароизоляции, стыковых соединений;
- реконструкцию крыши с полной заменой ряда конструктивных элементов или трансформацию крыши из одного типа в другой, более современный.

При проведении мероприятий по *повышению теплоизолирующей функции* конструкции крыши сушку и замену утеплителя обычно применяют для совмещенных неветилируемых крыш, основным конструктивным недостатком которых является возможность прогрессирующего влагонакопления в материале утеплителя. Однако и для чердачных крыш прибегают к этому способу восстановления теплозащиты в случае протечек кровли или нарушений в работе вентиляции.

В случае неувлажненного, но слежавшегося сыпучего утеплителя производят рыхление, так как по правилам эксплуатации его необходимо рыхлить 1 раз в 5 лет.

В бесчердачных крышах отдельной конструкции замена утеплителя наиболее трудоемка, в связи с чем эта конструкция крыши считается мало-ремонтпригодной.

В некоторых чрезмерно увлажненных плитных утеплителях (цементный фибролит, минераловатные плиты) относительно быстро происходят необратимые структурные изменения под воздействием температурно-влажностных деформаций; сушка как способ восстановления их эксплуатационных свойств непригодна, поэтому такой плитный утеплитель заменяют другим.

Дополнительное утепление конструкции крыши, как и наружных стен, выполняют с целью повышения ее термического сопротивления до нормативных значений. С этой целью обычно используют легкие плитные утеплители из ячеистого бетона, вспученной пластмассы, жесткой минеральной ваты. По опыту эксплуатации, конструкция крыши чаще всего теряет свои теплозащитные свойства в местах сопряжений с наружными стенами (прикарнизная зона совмещенной крыши, участки примыкания чердачного перекрытия к наружным стенам чердака и др.).

Прикарнизная зона совмещенной крыши является своеобразным «мостиком холода». Ее дополнительное утепление можно выполнить как с наружной стороны, так и со стороны помещения. Для утепления с наружной стороны производят разборку кровельного ковра и стяжки вдоль внутренней грани карнизной плиты, очистку участка от раствора и заполнение его легким теплоизоляционным материалом. Если кровельная плита имеет карнизный свес или карнизная плита перекрывает зону сопряжения, то утепление этой зоны покрытия со стороны помещения целесообразно,

Крыша с теплым чердаком требует высокого уровня теплоизоляции и герметичности наружных стен и кровельных панелей чердака. Важным показателем снижения теплоизоляционных свойств и герметичности этих ограждений является температура воздуха в чердачном пространстве.

Перед дополнительным утеплением наружных стен чердака их подвергают сушке, если влажность материала стен превышает допустимую по нормам, а также восстанавливают герметичность стыковых соединений. Восстановление пароизоляционного слоя в конструкциях крыш выполняют, если при замене или рыхлении теплоизоляции замечены его повреждения или установлено, что чрезмерное увлажнение утеплителя происходит по причине потери защитной функции этого слоя. На расчищенную и выровненную раствором поверхность железобетонной плиты наносят пароизоляционный слой или слой из рулонных (полимерные пленки, рубероид) либо мастичных (полимерные смолы, битумная мастика) материалов.

Выполнение этих теплозащитных мероприятий для холодного чердака направлено на предотвращение повышения температуры его воздушного пространства и поступлений тепловых потоков к поверхности кровли, что стимулирует процессы промерзания и обледенения на верхней кровельной плите и накопления снежно-ледяной массы на поверхности кровли. Поэтому, помимо архитектурно-строительных мероприятий по повышению теплоизолирующей способности конструкции крыши, в процессе эксплуатации здания с этой же целью выполняются и определенные технические мероприятия. К ним относятся работы по восстановлению теплоизоляции трубопроводов отопления и горячего водоснабжения, расширительных баков, тепловых задвижек, если они имеются в пространстве чердака, а также вентиляционных шахт и канализационных стояков.

Восстановление теплоизоляции горячих трубопроводов и их элементов осуществляют:

- при наличии на ней трещин, оголенных участков;
- в случае ее недостаточной толщины (менее 4 см);
- при повышении температуры ее поверхности более чем на 4 градуса по сравнению с температурой окружающего воздуха.

Наиболее эффективным способом повышения не только теплозащитных качеств, но и долговечности верхнего ограждения здания является проведение ремонта его вентиляционной системы или дополнительное устройство этой системы.

В отличие от крыш чердачной конструкции, в которых систему вентиляции приходится восстанавливать или реконструировать, в совмещенных неветилируемых крышах ее необходимо устраивать заново. Это хотя и требует выполнения большего объема достаточно сложных работ по устройству многочисленных каналов в утеплителе или над его поверхностью, но зато обеспечивает значительное улучшение теплотехнических качеств и повышение долговечности этого типа покрытия.

Устройство вентилируемых прослоек в совмещенной неветилируемой крыше можно осуществить двумя способами. Первый способ заключается в укладке по слою утеплителя для формообразования каналов жестких листов, или листов из волнистого асбестоцемента усиленного профиля, или плоских листов из асбестоцемента на столбиках. Этот способ особенно эффективен при наличии переувлажненного материала теплоизоляционного слоя или при полном выходе из строя кровельного ковра и значительных разрушениях цементно-песчаной стяжки.

Второй способ устройства вентилируемых прослоек в совмещенной крыше применяют в том случае, когда кровельный ковер на большей части поверхности покрытия находится в хорошем состоянии, что дает возможность сохранить и использовать эту часть кровли для дальнейшей эксплуатации. При этом способе вентиляционные каналы устраивают непосредственно в толще утеплителя. Конструктивное решение, шаг и геометрические размеры каналов назначают в зависимости от структуры и степени влагонасыщения материала утеплителя. В случае жесткого утеплителя каналы прорезают в его толще на глубину, равную примерно половине толщины слоя утеплителя, а затем их покрывают досками или полосами из плоских асбестоцементных листов.

Реконструкцию крыши и покрытий проводят при прогрессирующем ухудшении теплотехнических качеств конструкции, а также значительной потере ее несущей способности, в том случае, когда обычные способы восстановления эксплуатационных свойств неэффективны. Реконструируются крыши и тогда, когда они не отвечают современным архитектурным требованиям и неудобны для проведения ремонтов.

После проведения технического обследования состояния крыши выбор проектного решения реконструкции производят с учетом всех тех недостатков этой конструкции, которые проявились за период многолетней эксплуатации здания.

Совмещенные (бесчердачные) крыши хотя и являются экономичными по единовременным затратам, простыми по устройству, однако требуют больших затрат на эксплуатацию и, по существу, являются неремонтопригодными. Еще большими недостатками (недолговечность и более быстрая потеря теплотехнических качеств) отличается невентилируемый вариант конструктивного решения. Такие конструкции крыш чаще реконструируются в крыши из сборных железобетонных элементов с проходным или полупроходным чердачным помещением.

Проектное решение реконструируемых многоэтажных жилых и некоторых общественных зданий должно обеспечивать:

- для крыш с холодным и открытым чердаком хорошее проветривание чердачного пространства;

- возможность широкого использования ресурсо- и энергосберегающих строительных технологий, в том числе эффективных тепло-, гидро-, пароизоляционных материалов;

- удобный выход на крышу по маршевым лестницам.

Надстройку конструкции железобетонной чердачной крыши выполняют после проведения ряда подготовительных работ:

- разборки кровельного ковра, стяжки и утеплителя;

- устройства вентиляционных продухов в наружных стенах;

- кладки кирпичных столбов или монтажа опорных элементов под водосборные лотки, которые выполняют также роль прогонов для опирания верхних кровельных плит;

- замены утеплителя в случае больших разрушений его структуры на чердачном перекрытии;

- наращивания при необходимости вентиляционных блоков.

Высоту надстраиваемой части крыши принимают исходя из архитектурных и эксплуатационных соображений, но она должна обеспечивать высоту сквозного прохода по чердаку не менее 160 см.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Августиник, А.И. Керамика [Текст] / А.И. Августиник. – Л.: Стройиздат, 1975. – 593 с.
2. Ахундов, А.А. Основы количественной оценки процесса поризации минерального сырья [Текст] / А.А. Ахундов // Строительные материалы, 1984. – №5. – С.21–23.
3. Будников, П.П. Химическая технология керамики и огнеупоров [Текст] / П.П. Будников. – М.: Стройиздат, 1972. – 551 с.
4. Ребиндер, П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Физико-химическая механика [Текст] / П.А. Ребиндер. – М.: Стройиздат, 1979. – С. 142–143.
5. Горлов, Ю.П. Огнеупорные и теплоизоляционные материалы [Текст] / Ю.П. Горлов, Н.Ф. Ерёмин, Б.У. Седунов. – М.: Стройиздат, 1976. – 192 с.;
6. Горшков, В.С. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы. Структура и свойства [Текст] / В.С. Горшков [и др.]. – М.: Стройиздат, 1995. – 584 с.
7. Стрелов, К.К. Технология огнеупоров [Текст] / К.К. Стрелов, П.С. Мамыкин. – М.: Metallurgy, 1978. – 480 с.
8. Горяйнов, К.Э. Технология теплоизоляционных материалов и изделий [Текст] / К.Э. Горяйнов, С.К. Горяйнова. – М.: Стройиздат, 1982. – 376 с.
9. Кац, С.М. Высокотемпературные теплоизоляционные материалы [Текст] / С.М. Кац. – М.: Metallurgy, 1981. – 232 с.
10. Гузман, И.Я. Высокоогнеупорная пористая керамика [Текст] / И.Я. Гузман. – М.: Metallurgy, 1971. – 208 с.
11. Чумаченко, Н.Г. Методологические основы производства строительной керамики на основе природного и техногенного сырья [Текст]: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Н.Г. Чумаченко. – Пенза, 1999. – 42 с.
12. Береговой, В.А. Эффективные теплоизоляционные пенокерамобетоны [Текст] / В.А. Береговой, Е.В. Королев, Ю.М. Баженов. – М.: МГСУ, 2011. – 264 с.
13. Кетов, А.А. Опыт производства пеностеклянных материалов из стеклобоя [Текст] / А.А. Кетов, И.С. Пузанов, Д.В. Саулин // Строительные материалы. – 2007. – № 3. – С. 37–41.
14. Патент № 2104254. Способ изготовления пористой керамики «Редоксид» и технологическая линия для его осуществления / П.А. Иващенко, Ю.И. Матвеев, А.А. Чубаров, опубл. 1998.02.10.
15. Рахимов, Р.З. Современные теплоизоляционные материалы [Текст]: учеб. пособие / Р.З. Рахимов, Н.С. Шелихов. – Казань: КГАСУ, 2006. – 392 с.
16. Селиванов, Ю.В. Получение и свойства пористой строительной керамики [Текст] / Ю.В. Селиванов, В.И. Верещагин, А.Д. Шильцина // Из-

вестия Томского политехнического университета. – Томск, 2004. – № 1, т. 307. – С. 107–113.

17. Un nouveau materiau ceramique leger de la mausse d' argile – «Industrie ceramique». – 1977. – N 706. – P. 342– 344 (Франция).

18. Лундина, М.Г. Новое в производстве керамических стеновых материалов и дренажных труб [Текст] / М.Г. Лундина, Т.Н. Забрускова // Обзорная информация / ВНИИЭСМ. – М., 1978. – 70 с.

19. Пат. 2349563. Российская Федерация. Способ получения пенокерамических изделий. М.Г. Габидуллин, А.Г. Хузагарипов. – Оpubл. 20.03.2009. – Бюл. № 8.

20. Горбунов, Г.И. Исследование способности глинистого сырья к коагуляции в технологии пенокерамики [Текст] / Г.И. Горбунов, В.А. Езерский, Д.В. Кровелецкий // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2004. – № 6. – С. 52–53.

21. Береговой, В.А. Особенности структурообразования жаростойких поробетонов на многокомпонентных вяжущих смешанного типа твердения [Текст] / В.А. Береговой, А.М. Береговой, Е.А. Волкова, О.В. Болотникова, Р.Н. Сигалов // Региональная архитектура и строительство, 2006. – №1. – С. 90–96.

22. Пивинский, Ю.Е. ВКВС и керамобетоны. Основные этапы развития [Текст] / Ю.Е. Пивинский // Новые огнеупоры, 2003.– № 2. – С.28–39.

23. Сычев, М.М. Неорганические клеи [Текст] / М.М.Сычев. – Л.: Химия, 1986.— 152 с.

24. Череватова, А.В. Строительные композиты на основе высококонцентрированных вяжущих систем [Текст]: автореф. дис. ... д-ра. техн. наук / А.В. Череватова: – Белгород, 2008. – 26 с.

25. ГОСТ 2694–78. Изделия пенодиатомитовые и диатомитовые. Технические условия. – М., 1978.

26. Иваненко, В.Н. Кремнистые породы и новые возможности их применения [Текст] / В.Н. Иваненко, Я.Г. Белик. – Харьков: Изд-во ХГУ, 1971. – 148 с

27. Котляр, В.Д. Опоки – перспективное сырьё для стеновой керамики [Текст] / В.Д. Котляр, Б.В. Талпа // Строительные материалы. – 2007. – №2. – С. 31–33

28. Патент РФ № 2 415 817. Шихта для изготовления стеклогранулянта для пеностеклокристаллических материалов / О.В. Казьмина, А.Н. Абияка, В.И. Верещагин, С.Н. Соколова. – Оpubл.10.04.2011.

29. Патент № 2 403 230. Способ получения гранулированного теплоизоляционного материала // Г.А. Халухаев, А.Н. Кондратенко, Ю.Р. Кривобородов. – Оpubл. 10.11.2010, Бюл. №31.

30. Иванов, И.А. Местные строительные материалы Пензенской области [Текст] / И. Иванов, А. Кондрашов. – Пенза, 1970. – 168 с.
31. Масленникова, Г.Н. Расчеты в технологии керамики [Текст] / Г.Н. Масленникова, Ф.Я. Харитонов, И.В. Дубов. – М.: Стройиздат, 1991. – 320 с.
32. Салахов, А.М. Керамика для строителей и архитекторов [Текст] / А.М. Салахов. – Казань: Изд. Дом «Парадигма», 2009. – 296 с.
33. Воюцкий, С.С. Курс коллоидной химии [Текст] / С.С. Воюцкий. – М.: Химия, 1964. – 574 с.
34. Писаренко, А.П. Курс коллоидной химии [Текст] / А.П. Писаренко, К.А. Поспелова, А.Г. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1969. – 248 с.
35. Слюсарь, А.А. Коллоидно-химические аспекты пластификации пенобетонных смесей [Текст] / А.А. Слюсарь, К.А. Лахнов // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова, 2003. – № 4. – С.89–94.
36. Волков, Е.В. Роль растворов едкой щелочи в процессе формирования микроструктуры грунтобетона [Текст] / Ф.Е. Волков // Строительные материалы. – 2003. – №10. – С. 44–46.
37. Диаграммы состояния силикатосодержащих систем. Вып. 3 [Текст] / Торопов. – Л.: Наука, 1970. – 464 с.
38. Бабушкин, В.И. Термодинамика силикатов [Текст] / В.И. Бабушкин, Г.М. Матвеев, О.П. Медведов-Петросян. – М.: Стройиздат, 1965. – 352 с.
39. Мищенко, К.П. Краткий справочник физико-химических величин [Текст] / К.П. Мищенко [и др.]. – М-Л.: Химия, 1965. – 160 с.
40. Карапетьянц, М.Х. Основные термодинамические константы неорганических и органических веществ [Текст] / М.Х. Карапетьянц, М.Л. Карапетьянц. – М.: Химия, 1968. – 470 с.
41. Чижский, А.Ф. Сушка керамических материалов и изделий [Текст] / А.Ф. Чижский. – М.: Изд-во лит. по стр-ву, 1971. – 175 с.
42. Nagamatsu, S. Shrinkage and stress caused by drying of concrete. (Усадка и усадочные напряжения при высыхании бетона) / S. Nagamatsu, Y. Kawakami // Rev. 31st Gen. Meet. Techn. Sess., Tokyo. – 1977. – P.151–153.
43. Goto, T. Influence of water on drying shrinkage of hardening cement. (Влияние воды на усадку при высыхании затвердевшего цемента) / T. Goto // Ceram. Jap. – 1990. – №8. – P.719. – 721.
44. Духовный, М.Л. Сушка строительной керамики / М.Л. Духовный, [и др.]. – М.: Изд-во лит. по стр-ву, 1967. – 162 с.;
45. Лыков, А.В. Теория сушки [Текст] / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
46. Китайцев, В.А. Технология теплоизоляционных материалов [Текст] / В.А. Китайцев. – М.: Стройиздат, 1978. – 382 с.

47. Кетов, А.А. Опыт производства пеностеклянных материалов из стеклобоя [Текст] / А.А. Кетов, И.С. Пузанов, Д.В. Саулин // Строительные материалы. – 2007. – № 3. – С. 37–41.

48. Безбородов, В.Г. Влияние технологических факторов на свойства пенокерамики на основе суглинков [Текст] / В.Г. Безбородов [и др.] // Известия вузов. Строительство. – 2009. – № 10. – С. 19–24.

49. Пат.2415817С1. РФ. Шихта для изготовления стеклогранулята для пеностеклокристаллических материалов [Текст] / О.В. Казьмина, А.Н. Абияка, В.И. Верещагин, С.Н. Соколова. – Оpub. 10.04.2011. – Бюл. № 10.

50. Дистанов, У.Г. Кремнистые породы СССР [Текст] / У.Г. Дистанов. – Татарское книжное издательство, 1976. – 412 с.

51. Береговой, А.М. Ограждающие конструкции с повышенными теплозащитными качествами [Текст]: учеб. пособие. – 2-изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во АСВ; Пенза: ПГАСА, 1999. – 312 с.

52. СП 50.13330.2012. Свод правил. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02–2003. – 95 с.

53. СНиП 23-02–2003. Тепловая защита зданий / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 25 с.

54. www.nappan.ru/press/news/137/. Ассоциация НАППАН приняла участие в заседании экспертного совета по внесению уточнений и изменений в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», которое прошло в Государственной Думе Российской Федерации.

55. www.stroyorbита.ru. Умнякова Н.П. Выполнение требований по энергосбережению в соответствии СО СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий».

56. www.stroy-puls.ru/industry/detail.php?ID=56905. По материалам пресс-конференции «Новые нормы в строительстве – за дополнительные расходы на ЖКХ заплатит население?»

57. www.energsovet.ru/bul_stat.php?idd=375. Энергетическая эффективность зданий. К чему приведет СП 50-13330-2012 «Тепловая защита» и как выполнить постановление Правительства России.

58. Береговой, А.М. Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену [Текст] / А.М. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Дерина, А.В. Гречишкин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С.140–144.

59. Езерский, В.А. Влияние вентилируемого фасада на теплозащитные качества утеплителя [Текст] / В.А. Езерский, П.В. Монастырев // Жилищное строительство. – 2003. – №3. – С.18–20.

60. Ерофеев, В.Т. Композиционные строительные материалы на активированной воде затворения [Текст] / В.Т. Ерофеев [и др.] // Строительные материалы. – 2007. – №11. – С. 56–58.

61. Береговой, А.М. Энергосбережение в индивидуальном жилом доме при использовании тепла верхних слоёв земли / А.М. Береговой, В.А. Береговой // Известия вузов. Строительство. – 2008. – №10. – С. 54 – 58.

62. Лыков, А.В. Теоретические основы строительной теплофизики. – Минск: АН БССР. – 1961. – 520 с.

63. Богословский, В.Н. Строительная теплофизика [Текст] – М.: Высшая школа. – 1982. – 415 с.

64. СП 23–101–2004. Проектирование тепловой защиты зданий / Госстрой России. – М.: ФГУП ЦПП, 2004.

65. Губенко, А.Б. Металлические панели покрытия полной заводской готовности с гидроизоляционной полимерной пленкой [Текст] / А.Б. Губенко, П.П. Новокрещенов, Н.М. Шоболов // Промышленное строительство. – 1986. – №11. – С.18 – 20.

66. Прошин, А.П. Пенобетон (состав, свойства, применение) [Текст] / А.П. Прошин, В.А. Береговой, А.А. Краснощеков, А.М. Береговой. – Пенза: ПГУАС, 2003. – 162 с.

67. Стены промышленных зданий с влажным режимом эксплуатации [Текст]: обзор (Серия «Зарубежный опыт строительства»). – М.: ЦИНИС, 1977. – 54 с.

68. Соловьев, С.П. Металлизированные пленки в трехслойных наружных стеновых панелях [Текст] / С.П. Соловьев, М.А. Есяян // Жилищное строительство. – 1990. – №8. – С.18–19.

69. Пермяков, С.И. Резервы экономии тепла [Текст] / С.И. Пермяков, О.А. Исаков // Жилищное строительство. – 1992. – № 10. – С.18–20.

70. Гражданское строительство и архитектура. Зарубежный опыт [Текст]: экспресс-информ. – М.: ЦНТИ по гражд. стр-ву и архитектуре, 1987. – Вып.8. – 26 с.

71. Беляев, В.С. Пути повышения тепловой эффективности жилых зданий [Текст] / В.С. Беляев // Экономия топливно-энергетических и материальных ресурсов в жилых зданиях. – ЦНИИЭПжилища, 1985. – С.16.

72. Многощелевые светопропускающие заполнения и их основные свойства [Текст] / В.К. Савин [и др.] // Совершенствование светопрозрачных конструкций промышленных зданий: сборник. – М.: Стройиздат, 1978. Вып.42. – С. 15–19.

73. СНиП 41-01–2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

74. Стандарт АВОК. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2002 – 16 с.

75. СНиП 31-01–2003. Здания жилые многоквартирные.
76. Бутцев, Б.И. Приточные устройства – достойное дополнение к герметичным окнам [Текст] / Б.И. Бутцев // СК. – 2000. – №3. – С. 34 – 36.
77. Рымаров, А.Г. Особенности работы воздушных клапанов в окнах в квартире жилого здания в холодный период года [Текст] / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов, Д.Н. Зинченко // Сантехника, отопление, кондиционирование. – 2008. – №8. – С. 86–87.
78. Применение строительных материалов с учетом их безвредности для здоровья людей [Текст]: обзор. информ. – М: ВНИИ теории архитектуры и градостроительства, 1991.– 22 с. – (Серия «Конструкции жилых и общественных зданий. Технология индустр. домостроения»).
79. Ильинский, В.М. Строительная теплофизика [Текст] / В.М. Ильинский // Ограждающие конструкции и микроклимат зданий. – М.:Высшая школа, 1974. – 319 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
1. ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СТЕКЛОКРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ.....	5
1.1. Мировой опыт и современные тенденции производства теплоэффективных обжиговых строительных материалов.....	5
1.2. Изделия на основе глиняного сырья	6
1.3. Опыт промышленного использования нетрадиционного сырья....	13
2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ТЕПЛОЭФФЕКТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОПОЧНЫХ ГОРНЫХ ПОРОД	18
2.1. Выбор управляющих факторов.....	18
2.2. Материалы, формируемые способом низкотемпературного вспенивания.....	20
2.3. Материалы, формируемые способом термического вспучивания	44
3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	48
3.1. Теплофизические свойства строительных материалов и теплотехнические показатели наружных ограждающих конструкций в нормах тепловой защиты зданий	48
3.2. Нормирование и расчет на стадии проектирования теплотехнических показателей ограждающих конструкций	53
3.3. Совершенствование методов теплотехнического расчета.....	59
4. ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ФУНКЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ПУТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА	70
4.1. Исследование закономерностей возникновения и способов интенсификации экономайзерного эффекта в наружной стене.....	70
4.2. Наружная ограждающая конструкция, утилизирующая тепло уходящего из помещения воздуха	76
4.3. Тепловая эффективность наружных ограждений зданий при фазовых превращениях влаги.....	81
5. ТРАДИЦИОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДЕНИЙ ..	88
5.1. Наружные стены.....	88
5.2. Конструкции светопрозрачных ограждений	104
6. ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ ОГРАЖДЕНИЙ	109
6.1. Наружные стены.....	109

6.2. Конструктивные решения светопрозрачных ограждений с улучшенными теплозащитными и светотехническими показателями	119
6.3. Общие принципы проектно-исследовательской работы по выбору конструкции наружного ограждения с повышенными теплозащитными качествами.....	128
7. ПОВЫШЕНИЕ ЗАЩИТНОЙ ФУНКЦИИ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЛАГОПРИЯТНОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУХА ПОМЕЩЕНИЙ.....	132
7.1. Новый подход к улучшению работы системы естественной вентиляции и экологии воздушной среды многоэтажных жилых домов	133
7.2. Обеспечение теплового и акустического комфорта в помещениях	145
7.3. Обеспечение допустимого уровня транспортного шума в помещениях	146
7.4. Радонное излучение и архитектурно-строительные мероприятия по защите от него.....	147
7.5. Защита от радиоактивного излучения.....	149
7.6. Выделения химических токсических веществ с поверхности ограждающих конструкций	150
8. ОСОБЕННОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ НАРУЖНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ.....	153
8.1. Долговечность ограждающих конструкций и ее повышение архитектурно-строительными мероприятиями	153
8.2. Восстановление теплозащитных свойств наружных ограждающих конструкций.....	158
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	172

Научное издание

Береговой Александр Маркович
Береговой Виталий Александрович
Мальцев Алексей Викторович
Гречишкин Александр Викторович
Дерина Мария Александровна

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И НАРУЖНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ
ПОВЫШЕННОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ**

Монография

Редактор М.А. Сухова
Верстка Т.А. Лильп

Подписано в печать 10.09.14. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл.печ.л. 10,46. Уч.-изд.л. 11,25. Тираж 500 экз. 1-й завод 100 экз.
Заказ №316.

Издательство ПГУАС.
440028, г. Пенза, ул. Германа Титова, 28.