

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 666.97.031:693.542

РЕШЕНИЕ ВОПРОСА ПО ВЫБОРУ МАТЕРИАЛА СТЕН В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

*канд. техн. наук, доц. В.В. БОЗЫЛЕВ, Е.С. ДОБРОСОЛЬЦЕВА, Д.В. БОЗЫЛЕВ
(Полоцкий государственный университет)*

Рассмотрены подходы и требования к выбору стеновых материалов с учетом обеспечения баланса экономичности и соблюдения санитарно-гигиенических требований. Показано отличие, в частности от ячеистых бетонов, – арболитовые блоки хорошо работают на растяжение и позволяют использовать в проектах любые экономичные виды фундаментов. Проведено сравнение основных видов конструкций стеновых ограждений. Отмечены достоинства экономичного стенового материала арболита, разработанного в УО «Полоцкий государственный университет». Для возведения стен малоэтажных зданий перспективным следует считать использование местных сырьевых материалов, из которых можно изготовить композиционный материал арболит. Выполненные теплотехнические расчеты вариантов арболитовых стеновых ограждений подтвердили возможность обеспечения в построенных зданиях благоприятного для проживания микроклимата.

Введение. Современные подходы к проектированию жилых домов ориентированы на обеспечение баланса экономических интересов и соблюдение в жилых помещениях санитарно-гигиенических требований. Гигиенические требования можно определить как обеспечение теплового комфорта для проживающих. Проектирование ограждений ориентировано на обеспечение экономически целесообразного сопротивления теплопередаче. При этом стоимость стен зданий определяется видом стенового материала и расчетной толщиной стены [1].

Тепловой баланс жилища включает процессы поступления и отвода тепла. Для Витебской области (Республика Беларусь) продолжительность отопительного периода превышает 200 дней, и правильный выбор конструктивного решения наружных стен позволяет обеспечить значительное снижение теплопотерь. При составлении теплового баланса учитывается теплопроводность материала стен. Кроме того, в помещениях у поверхности стен наблюдается конвективный теплообмен, при этом чем больше разность температур поверхности стен и воздуха, тем интенсивнее теплообмен между ними.

Излучением тепло передается от нагретой поверхности радиатора. Чем выше температура, тем сильнее обогревается помещение. Излучаемое тепло частично отражается, частично поглощается стенами комнаты. Человек в помещении также теряет около 150 Вт тепла даже в комфортных условиях (18...20 °С). При этом теплообмен человека с окружающими стенами и окнами, если они имеют низкую температуру, вызывает необходимость интенсивного излучения человеком тепла и может привести к переохлаждению организма. Следовательно, стены должны иметь теплозащитные качества, чтобы температура их поверхности не опускалась ниже нормируемых значений.

На комфортность проживания влияет также влажность воздуха в помещениях. Наиболее благоприятной считается относительная влажность 50...60 %. При более высокой влажности будет затруднено испарение влаги с поверхности тела человека и он начинает испытывать дискомфорт. При сухом воздухе в помещениях наблюдается пересыхание слизистых оболочек горла, носа – у человека появляется кашель, чувство жжения.

Основная часть. Правильный выбор материала стен обеспечивает комфортные условия проживания. Так, бетонные стены в зданиях из монолитного бетона, в крупнопанельных зданиях способны в зимний отопительный период снижать влажность и вызывать сухость воздуха в помещении. Оптимальные условия проживания обеспечивают деревянные стены, в таких домах зимой тепло, летом прохладно, при этом поддерживается оптимальная влажность помещений.

При выборе стенового материала необходимо учитывать его тепловую инертность. Перепады температур наружного воздуха в дневное и ночное время влияют на колебания температур в помещениях – стены с большим показателем тепловой инерции делают эти перепады малозаметными. При проектировании стен также важно, чтобы они были маловоздухопроницаемы, так как в противном случае при сильном ветре из-за инфильтрации происходит быстрое остывание помещений.

Передача тепла через стены происходит главным образом вследствие теплопроводности. Этот показатель зависит от плотности и влажности материала. При увлажнении происходит увеличение коэффи-

циента теплопроводности, так как вода в 20 раз лучше проводит тепло, чем воздух, заполняющий поры стенового материала. Например, в кирпичной стене увеличение влажности с 2 до 8 % приводит к ухудшению теплозащиты на 30 %.

Влажностный режим ограждения определяется температурой точки росы. Теплоизоляция ограждения должна обеспечивать на внутренней его поверхности такую температуру, которая была бы выше точки росы при данной влажности воздуха в помещении. В зданиях зимой водяной пар диффундирует через стены от внутренней стороны к наружной, а в летнее время – от наружной к внутренней. В толще стенового материала, имеющего температуру точки росы, происходит конденсация паров.

Для защиты от конденсации влаги необходимо материалы с более высоким коэффициентом теплопроводности и меньшим коэффициентом паропроницаемости устанавливать на внутренней поверхности, а с меньшим коэффициентом теплопроводности и большим коэффициентом паропроницаемости – на наружной поверхности стены. Пароизоляционные слои необходимо устанавливать на внутренней, более теплой, поверхности, так как установка их снаружи ухудшает влажностный режим. Материал стены не должен удерживать эту влагу, он должен легко отдавать конденсат в окружающую среду.

При выборе конструктивного решения наружных ограждений необходимо предвидеть поведение материала стен в процессе эксплуатации построенного здания. С этих позиций применяемые материалы имеют как достоинства, так и недостатки.

Древесина, которая используется для возведения срубов домов, должна быть хорошо высушена, в противном случае она усыхает, коробится, трескается. Значительным недостатком древесины является малая стойкость ее против гниения. Дерево поражается большим количеством насекомых и грибов, которые приводят к быстрому его разрушению. К существенным недостаткам древесины следует отнести ее высокую горючесть. Кроме того, бревенчатые дома отличаются высокой трудоемкостью их возведения.

В последнее время в практике малоэтажного строительства получили распространение каркасные, а также щитовые дома. Щитовая стена состоит из каркасных щитов шириной 2 м и высотой в один этаж. Стены таких зданий имеют многослойную конструкцию, каждый слой которой выполняет свои функции. Внутренняя дощатая или фанерная обшивка служит основанием для отделки и обеспечивает жесткость, далее следуют слои пароизоляции, утеплителя, слой картона для защиты стены от продувания и наружная обшивка защищает стену от атмосферных воздействий.

Главным врагом каркасных стен является влага, скапливающаяся во внутренней полости за обшивкой. Влага может попадать внутрь через щели и неровности, конденсироваться в толще утеплителя в холодный период года. Утеплитель, находящийся между слоями обшивки, высыхает медленно и становится благоприятной средой для развития грибов и плесени, поражающих все деревянные элементы. Здание с отсыревшими стенами превращается из «теплого» в сырое и холодное. В щитовых домах проблемным местом являются стыки, из-за сложности обеспечения их герметичности, в результате продуваемости часто наблюдается быстрое остывание помещений.

Для возведения стен малоэтажных зданий перспективным следует считать использование местных сырьевых материалов, из которых можно изготовить композиционный материал *арболит*. Стены из этого материала имеют низкий вес, хорошие теплозащитные качества, требуют малого расхода цемента и могут возводиться на строительной площадке монолитными с помощью разборной опалубки. Для ускорения строительства из арболита в заводских условиях рационально изготовление блоков, которые затем доставляются на место строительства. Арболитовые блоки должны иметь массу до 20 кг и марки по прочности 15, 25, что обеспечивает возможность возводить из них стены.

В настоящее время в малоэтажном строительстве широко применяются *блоки из ячеистого бетона*. Как и арболитовые, блоки из ячеистого бетона позволяют быстро возводить здания, обеспечивают хорошие теплозащитные характеристики. Недостатком ячеистых бетонов является способность материала удерживать остаточную влагу, а в случае внутренней конденсации – накапливать ее в толще стены. Недостаток пенобетона – это и усадка блоков в процессе эксплуатации, которая составляет 2...3 мм. Для исключения трещин на поверхности штукатурки ряд технологических документов содержит требование проведения отделки только через год после возведения стен. Газосиликатные блоки имеют усадку 0,3 мм. Однако для организации производства требуется дорогостоящее оборудование, высококвалифицированный персонал для эксплуатации автоклавов. Производство считается рентабельным только при больших объемах выпуска.

Использование блоков из ячеистых бетонов из-за их большой хрупкости требует высокой культуры производства. Кроме того, стены из ячеистых бетонов не допускают возможности появления осадочных деформаций или деформаций пучения грунтов, так как это приводит к появлению на здании трещин. Для исключения деформаций фундаменты проектируют сплошными ленточными или плитного типа. Данные фундаменты не относятся к экономичным и малопригодны для малоэтажного строительства.

В отличие от ячеистых, арболитовые блоки хорошо работают на растяжение и позволяют использовать в проектах любые экономичные виды фундаментов. При сравнении материала блоков по отношению к влаге выбор следует сделать в пользу арболитовых, так как в отличие от ячеистого бетона, арболит обладает способностью легко отдавать и не накапливать влагу в толще стены.

Технология изготовления изделий из арболита не содержит сложных операций и включает подготовку сырьевых материалов, приготовление арболитовой смеси, укладку смеси в формы, твердение. «Прохладное» отношение строителей к арболиту связано с тем, что требуется нейтрализация содержащихся в древесном наполнителе водорастворимых сахаров и других соединений, которые «отравляют» цемент, в результате происходит значительное уменьшение прочности арболита [2].

Наиболее часто при изготовлении арболита используют минеральную добавку хлористого кальция (CaCl_2). Данная добавка включена в рецептуру арболита, рекомендуемого стандартом для применения [3]. Использование хлористого кальция имеет и отрицательные последствия – вызывает повышение гигроскопичности изделий, а следовательно, накопление конденсатной влаги в стене, поэтому введено ограничение по количеству добавки – не более 2 % от массы цемента.

В Полоцком государственном университете разработаны добавки, которые по эффективности не уступают хлористому кальцию, при этом не вызывают повышения гигроскопичности арболита [4].

С использованием новых добавок разработаны составы арболита различных марок для изготовления теплоизоляционных и стеновых изделий, отличающихся показателями прочности и плотности. Перспективность использования арболита в качестве стенового материала подтверждена приведенными ниже теплотехническими расчетами.

Проектирование наружных ограждающих конструкций подразумевает выполнение расчетов по определению несущей способности, а также теплотехнических расчетов на соответствие санитарно-гигиеническим условиям.

Теплотехнические расчеты позволяют определить параметры стен, гарантирующие нормативные показатели по сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций, а также отсутствие конденсации паров на внутренней поверхности и в толще ограждения.

С учетом требований действующих стандартов выполнены оценочные теплотехнические расчеты однослойной наружной стены толщиной 400 мм из арболита, имеющего расчетный коэффициент теплопроводности λ , равный 0,16 Вт/(м·°C). Сопротивление теплопередаче такой конструкции составило [1, формула (5.6)]

$$R_m = \frac{1}{8,7} + \frac{0,4}{0,16} + \frac{1}{23} = 2,66 \text{ м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}.$$

Для определения зоны возможной конденсации в ограждающей конструкции толщиной 400 мм были рассчитаны температуры при средней температуре наружного воздуха за отопительный период $t_{н.от}$, равной -2 °C [1, п. 9], которые составили:

- на внутренней поверхности ограждения $\tau_в = 16,8 \text{ °C}$;
- в центре стены $\tau_1 = 3,2 \text{ °C}$;
- на наружной поверхности $\tau_н = -1,9 \text{ °C}$.

На основании этих температур определили максимальные парциальные давления водяного пара [1, прил. Е]: $E_в = 1919 \text{ Па}$; $E_1 = 769,8 \text{ Па}$; $E_н = 517,4 \text{ Па}$.

Парциальные давления водяного пара внутреннего и наружного воздуха определили по формулам (9.2) и (9.4) [1] соответственно:

$$e_в = 0,01 \cdot 2064 \cdot 60 = 1238,4 \text{ Па};$$

$$e_н = 0,01 \cdot 517 \cdot 82 = 423,94 \text{ Па}.$$

На основании этих данных построены кривые распределения максимальной (E) и действительной (e) упругости водяного пара по толщине ограждения (рис. 1). Представленные кривые распределения максимальной (E) и действительной (e) упругости водяного пара пересекаются в двух точках, что позволяет сделать вывод о возникновении в толще стены зоны конденсации [5]. Аналогичный характер имеют кривые, построенные для стены из газосиликатных блоков с расчетным коэффициентом теплопроводности λ , равном 0,16 Вт/(м·°C). Способность арболита легко отдавать конденсат в окружающую среду не приведет к накоплению влаги в толще стены, что нельзя сказать о стене из газосиликатных блоков.

С целью повышения энергоэффективности стенового ограждения рассмотрен вариант двухслойной стены, состоящей из арболита толщиной 400 мм, $\lambda = 0,16$ Вт/(м·°С) и теплоизоляционного слоя – пенополистирола ($\lambda = 0,052$ Вт/(м·°С) [1, табл. А.1]). Обеспечить нормативный показатель сопротивления теплопередачи, равный 3 (принятый в России), позволяет слой дополнительной теплоизоляции. Необходимая толщина слоя пенополистирола согласно [1, формула (5.6)]

$$\delta_{\text{нпс}} = 0,052 \left(3 - \frac{1}{8,7} - \frac{0,4}{0,16} - \frac{1}{23} \right) = 0,02 \text{ м.}$$

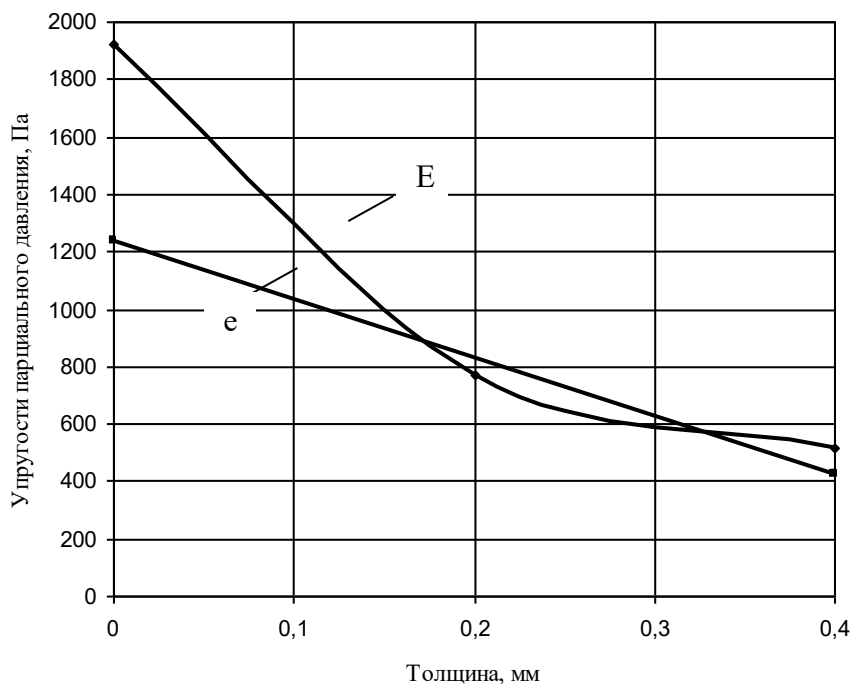


Рис. 1. Кривые распределения максимальной (E) и действительной (e) упругости водяного пара по толщине ограждения из арболита

Комплексное ограждение, состоящее из 40 см арболита и 2 см пенополистирола, необходимо проверить на возможность возникновения плоскости конденсации. Положение плоскости возможной конденсации в ограждающей конструкции определяется по результатам расчета температурного и влажностного полей в толще ограждающей конструкции при средней температуре наружного воздуха за отопительный период $t_{н.от} = -2$ °С, $\varphi_n = 82$ % [1, п. 9]. Согласно формуле (9.3) [1] найдены следующие температуры:

- на внутренней поверхности ограждения $\tau_в = 17,2$ °С;
- в середине слоя арболита $\tau_1 = 8,9$ °С;
- на стыке арболита и пенополистирола $\tau_{см} = 0,6$ °С;
- на наружной поверхности пенополистирола $\tau_n = -1,9$ °С.

На основании этих температур определили максимальные парциальные давления водяного пара [1, прил. Е] $E_в = 1962,4$ Па; $E_1 = 1140,4$ Па; $E_{см} = 637,22$ Па; $E_n = 517,46$ Па.

Парциальные давления водяного пара внутреннего и наружного воздуха определили по формулам (9.2) и (9.4) [1] соответственно:

$$e_в = 0,01 \cdot 1962,4 \cdot 60 = 1177,44 \text{ Па;}$$

$$e_n = 0,01 \cdot 517,46 \cdot 82 = 424,32 \text{ Па.}$$

На основании этих данных построены кривые распределения максимальной (E) и действительной (e) упругости водяного пара по толщине двухслойного ограждения (рис. 2).

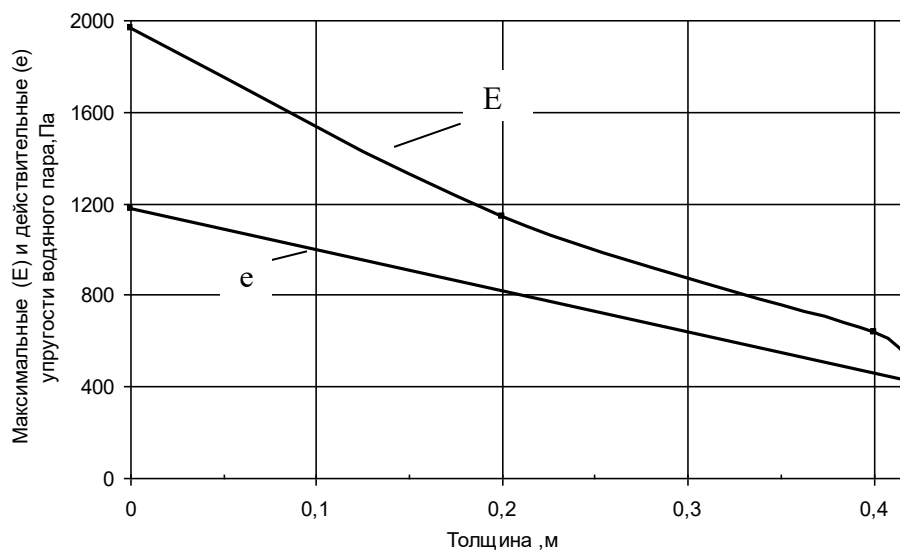


Рис. 2. Кривые распределения максимальной (E) и действительной (e) упругости водяного пара по толщине двухслойного ограждения

Представленные на рисунке 2 кривые распределения максимальной (E) и действительной (e) упругости водяного пара не пересекаются, что позволяет сделать вывод об отсутствии зоны конденсации в толще стены и отсутствии плоскости конденсации на стыке слоев арболита и пенополистирола.

Заключение. Выполненные теплотехнические расчеты и представленные сравнительные данные свидетельствуют о перспективности, технической возможности и экономической целесообразности использования арболита в качестве конструкционно-теплоизоляционного материала при проектировании ограждающих конструкций зданий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-43-2006. – Минск: Мин-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2007. – 35 с.
2. Справочник по производству и применению арболита / П.И. Крутов [и др.]; под ред. И.Х. Наназашвили. – М.: Стройиздат, 1987. – 208 с.
3. Блоки стеновые из арболита для малоэтажного строительства: СТБ 1105-98. – Введ. 01.07.98. – Минск: Минстройархитектуры Респ. Беларусь, 1998. – 26 с.
4. Бозылев, В.В. Модифицированный арболит – эффективный стеновой материал для малоэтажного строительства / В.В. Бозылев, Н.Ф. Клундук, Д.В. Бозылев // Вестник Полоцк. гос. ун-та. Сер. С. Фундаментальные науки. – 2007. – № 6. – С. 78 – 81.
5. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / К.Ф. Фокин. – М.: Стройиздат, 1973. – 346 с.

Поступила 19.10.2007