

УДК 625.7

МОДУЛЬ КОМПЛЕКСНОГО ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКОГО КАЧЕСТВА СТЕНОВЫХ МАТЕРИАЛОВ И ОГРАЖДАЮЩИХ

*Солдатов В.П., Сапелин Н.А., Сапелин А.Н., Щетинин П.В.
г. Москва*

Сегодняшние основные требования к строительным стеновым материалам можно было бы ограничить следующим перечнем:

- универсальность материалов по вариантам разнообразного применения. Материалы, одновременно, должны обладать высокими конструктивными и теплоизоляционными качествами;
- малый вес;
- высокая заводская точность изготовления базовых строительных элементов и конструкций;
- доступность сырья;
- низкая себестоимость;
- высокая заводская воспроизводимость качества продукции;
- привлекательный внешний вид;
- неприхотливость к транспортировке и погрузкам/разгрузкам;
- легкость монтажа и обработки непосредственно на стройплощадке;
- минимальное водопоглощение – стены не должны промокать и промерзать;
- высокая морозостойкость;
- долговечность;
- экологическая безупречность.

Для создания эффективных ограждающих конструкций в настоящее время используются разнообразные конструкционные и теплоизоляционные строительные материалы. Назрела острая необходимость понятного и наглядного их комплексного сравнения как по физико-техническим характеристикам, так и по критерию Цена/Качество.

В качестве примера, в авиационной промышленности для оценки структурных свойств материала по прочности используется показатель относительной прочности. Так называемый коэффициент конструктивного качества, представляющий отношение прочности к объемной плотности материала. Особенно важна удельная прочность для авиастроения, ракетостроения, космических аппаратов.

Физический смысл промышленного коэффициента конструктивного качества заключается в том, что он показывает, насколько прочной будет конструкция при заданной массе. Чем выше коэффициент, тем больше прочность при заданной объемной плотности. Весьма наглядный и эффективный показатель.

Требования же к стеновым материалам гораздо более многообразны. В домах живут люди. И создание комфортной среды проживания – сложнейшая многофакторная задача.

В строительной практике предпринимались многочисленные попытки введения тех или иных показателей качества стеновых строительных материалов и конструкций стен [1-9]. Однако, многофакторность требований к жилью, не способствовали появлению в строительной практике наглядных комплексных критериев качества, понятных для широкого круга потребителей – жителей. В основном, все предложенные критерии носили локальный характер, понятный только для профессионалов.

Предлагаем для комплексной оценки качества стеновых материалов и ограждающих конструкций ввести новый строительный коэффициент или **безразмерный модуль их физико-технического качества (M_k)**, имеющий наглядный физический смысл и универсальный характер для любых стеновых материалов и многослойных ограждающих конструкций.

Для начала мы разделили все показатели и требования на две главных категории: основные показатели (А) и граничные условия (Б). Смысл в том, что если стеновые материалы и ограждающие конструкции жилых помещений не удовлетворяют требованиям граничных условий, то они чаще и не рассматриваются как стеновые. Для нежилых помещений граничные условия более либеральны.

Отметим, что есть и другие требования к стеновым материалам, с учетом которых, в дальнейшем можно ввести модифицированные комплексные безразмерные показатели модуля качества стены, введя поправочные коэффициенты. Например, с учетом теплотехнической однородности здания, экологии, привлекательного внешнего вида, долговечности и др. Важнейшим показателем является также и Цена/Качество непосредственно конструкции стены.

Теперь о главном.

(А) **Основные нормируемые показатели качества** стеновых строительных материалов следующие:

1. Высокая прочность – в большинстве востребованы (а) (в) многоэтажные(х) здания(х).
2. Высокая теплоемкость - здание должно сохранять тепло в холод и хранить прохладу в зной.
3. Низкая объемная плотность – чем легче, тем меньше затраты на фундамент и возведение.
4. Низкая теплопроводность – минимизация энергозатрат на обогрев.

(Б) **Граничные условия:**

1. Умеренное влагопоглощение – нельзя жить в доме, который промокает и в нем разползается плесень.
2. Морозостойкость – чем выше, тем долговечнее здание;
3. Высокая теплотехническая однородность – также один из основных критериев долговечности здания.
4. И еще один критерий - паропроницаемость стеновых материалов. Однако, в соответствии с пунктом **6.4. СНиП II-3-79**, не требуется определять сопротивление паропроницанию: однородных (однослойных) наружных стен помещений с сухим или нормальным режимом; двухслойных наружных стен помещений с сухим или нормальным режимом, если внутренний слой стены имеет сопротивление паропроницанию более $1,6 \text{ м}^2 \text{чПа/мг}$.

В основу предлагаемого нового безразмерного модуля качества M_k положены простые соображения:

- чем выше прочность и теплоемкость стеновых материалов и ограждающих конструкций – тем выше качество;
- чем ниже объемная плотность и чем ниже теплопроводность (плотность теплового потока) – тем лучше и выше качество при прочих равных параметрах.

Принимая размерности в системе СИ:

R – удельная (*усредненная*) прочность на сжатие стены, $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2 = \text{Н} \cdot \text{м}^{-2}$
 C_v - удельная объемная (*усредненная*) теплоемкость стены, $\text{Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}) = \text{Дж} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}^{-1}$
 γ - удельный объемный (*усредненный*) вес стены, $\text{Н}/\text{м}^3 = \text{Н} \cdot \text{м}^{-3}$

$$\lambda - \text{теплопроводность (приведенная) стены,} \quad \text{Вт/(м}^0\text{К)} = \text{Дж м}^{-1} \text{с}^{-1} \text{К}^{-1}$$

$$Q - \text{плотность теплового потока, } Q = \frac{\lambda}{\ell} \Delta T = q \Delta T \quad \text{Вт/м}^2 =$$

$$\text{Дж с}^{-1} \text{м}^{-2},$$

где:

$$q - \text{удельная плотность теплового потока} \quad = \text{Дж с}^{-1} \text{м}^{-2} \text{К}^{-1},$$

$$\ell - \text{толщина стены} \quad = \text{м}$$

$$\Delta T - \text{разность температур по обе стороны стены} \quad = \text{К}^{-1}$$

Удельная плотность теплового потока и теплопроводность при толщине стены 1метр численно совпадают.

Отсюда с очевидностью появляется комплексный критерий или модуль физико-технического качества любых стеновых материалов и конструкций стен.

$$M_k = \frac{P C_v}{\gamma q} = \frac{P C_v}{\gamma \frac{\lambda}{\ell}} = \frac{P C_v \ell}{\gamma \lambda},$$

Размерность введенного модуля:

$$[M_k] = \left[\frac{P C_v \ell}{\gamma \lambda} \right] = \left[\frac{H \cdot \text{м}^{-2} \times \text{Дж} \cdot \text{м}^{-3} \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{м}}{H \cdot \text{м}^{-3} \times \text{Дж} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}} \right] = [c].$$

Так как стеновые материалы сравниваются между собой одномоментно, то секунду (с) в полученном критерии можно опустить, приняв ее равной **1**. Ниже мы вернемся к секунде (времени), присутствующей в формуле. И она получит свою нагрузку в предлагаемом критерии с учетом амортизации, которая как раз и проистекает во времени.

В результате получили изящную каноническую формулу комплексной числовой оценки физико-технического качества любых стеновых материалов и конструкций стен любой толщины:

Вот этот модуль качества (M_k) или его числовое значение мы предлагаем ввести в строительную практику как новый безразмерный критерий – **модуль физико-технических качества стеновых строительных материалов и ограждающих конструкций.**

Модуль качества собственно стеновых материалов при толщине $l = 1\text{м}$, относится по своей сути к одному кубометру стеновых материалов. Это соответствует размерности численных значений принятого модуля. Весь критерий рассчитан на один (м), (м^2) и на (м^3).

Отметить еще раз, что новый введенный критерий или комплексный модуль качества годится и для сравнения между собой любых стеновых материалов, включая и композиционные (так называемые, сэндвич конструкции – с внутренним теплоизолятором). В этом случае все четыре основных показателя (прочность, теплоемкость, объемная плотность и теплопроводность) комплексные или эффективные, приведенные на один (м), (м^2), (м^3), соответственно. В настоящей статье такие расчеты не производились и делегируются читателям - специалистам.

Отметим повторно, что введенный модуль качества стены может быть скорректирован умножением его на другие критерии качества, например:

- теплотехническая однородность конструкции;
- пожарная безопасность;
- долговечность;

- ремонтодоступность;
- сейсмоустойчивость;
- энергоэффективность;
- звукоизоляция;
- экологическая безопасность;
- архитектурная привлекательность;
- амортизационные отчисления;
- сроки межкапитального ремонта;
- и др.

Еще одним важным критерием является цена (C) одного квадратного метра стены или критерий Цена/Качества. Новый введенный модуль позволяет с легкостью вычислить и этот показатель.

Определяющим здесь является стоимость цены одного квадратного метра стены. Из более дорогого стенового материала может быть возведена более тонкая стена, а в итоге и более дешевая при том же критерии качества. Таким образом, критерий Цена/Качества определяется выражением, рассчитанным на конкретную толщину стены:

$$\frac{C}{M_k},$$

где, C – цена одного квадратного метра стены.

На складе продавца – это отпускная цена строительных материалов, пересчитанная в расчете на кубометр. Продавцы строительных материалов имеют дело с тоннами, кубометрами и штуками, а не толщиной стены.

По окончании строительства, это может быть финишная цена одного квадратного метра стены с учетом всех затрат на транспортировку, возведение и отделку. А модуль качества стены может быть принят и с учетом вышеперечисленных поправок на другие критерии качества, частично перечисленные выше.

Пояснения к Таблице 1.

В *Таблице 1* в качестве примеров приведены параметры наиболее распространенных в строительной практике стеновых материалов с их характеристиками. А также разрабатываемых перспективных стеновых материалов на основе полых микросфер.

Критерий Цена/качество рассчитан на термосопротивление стены $R = 1\text{ м}^2\text{°К/Вт}$, (равное единице). Соответственно приведена и толщина стены, соответствующая этому термосопротивлению. Любой читатель может потом рассчитать свою толщину стены в соответствие с принятыми критериями в конкретном регионе и собственными экономическими соображениями. Чиновники – по принятым законодательствам. А жители – по собственному опыту и наказам предков.

Дело в том, что критерии по теплоизоляции, по мнению многих ведущих ученых страны завышены в 2-3 раза. Потому как основные энергетические потери идут через воздушный теплообмен. А попросту через вентиляцию. А дышать жителям морозным воздухом принято самым полезным всеми медиками мира.

Цены за 1 м^3 стеновых материалов приняты среднерыночными со склада продавца без учета доставки и являются оценочными. Любой читатель может произвести пересчет с учетом конкретных реалий в регионе и условий местности.

Таблица 1

№	Стеновой материал	Прочность, Р <i>МПа</i>	Объемная теплоемкость, C _v <i>МДж/м³°К</i>	Объемный вес, γ <i>т/м³</i>	Теплопроводность, λ <i>Дж/с м °К</i>	Модуль качества стенового материала M _к	Толщина стены, при R=1, l <i>м</i>	Модуль качества стены, M _к	Цена 1м ³ материала со склада, Ц <i>Руб.</i>	Цена стены* Мод. кач. стены, при R=1 Ц/M _к <i>Руб.</i>
1	Керамический полнотелый кирпич	15	1,344	1.8	0.56	20	0.56	11,2	5 120	256
2	Силикатный полнотелый кирпич	15	1,7	1.8	0.70	20.24	0.70	14.2	4 000	197
3	Бетон монолитный	15	2.5	2.3	1.35	12.1	1.35	16.34	3 250	268
4	Газобетон D400	1.1	0.462	0.425	0.108	11.1	0.108	1.2	2 500	225
	Разрабатываемые стеновые материалы на основе полых microsфер									
5	ВПК, керамический кирпич	15	0,672	0.9	0.25	44,8	0.25	11.2	5 120	114
6	ВПК, керамический кирпич	14	0.52	0.7	0.18	57.8	0.18	10.4	5 120	103
7	ПСК, силикатный кирпич	10	0.47	0.5	0.13	72.4	0.13	9.4	4 000	55
8	ПБ, бетон	15	0.87	0.7	0.22	84.7	0.22	18.6	3 250	38

Примечание:

*Цена стены определяется только стоимостью материала, без учета строительномонтажных работ и отделки.

ВПК – вакуумно поровый кирпич (на основе полых microsфер).

ПСК – поровый силикатный кирпич (на основе полых microsфер).

ПБ – поровый бетон (на основе полых microsфер).

При увеличении толщины стены до нужного термосопротивления, модули качества стены, рассчитанные на термосопротивления $R=1\text{ м}^2/\text{Вт}^0\text{К}$, складываются (См. Таблицу 1). Так, например, стены, выложенные из вакуумно порового кирпича с объемным весом:

$$0,7 \text{ т/м}^3$$

и термосопротивлением:

$$R = 3 \text{ м}^2/\text{Вт}^0\text{К},$$

будут иметь толщину:

$$0,54\text{ м},$$

(стандартная кладка в 2,5 кирпича) и модуль качества:

$$M_k = 31,2$$

Для сравнения стена из конструкционного пенобетона марки D400 с тем же термосопротивлением будет иметь толщину 0,324 м, но с модулем качества $M_k = 3,6$. Практически почти в 10 раз хуже. И высотное здание без применения каркасных конструкций из него не построишь.

Вернемся теперь ко времени, присутствующем в предлагаемом модуле качества стеновых материалов и стен. С годами стены ветшают, и качество их ухудшается. Приходит время и зданию требуется капитальный ремонт. В экономике это отражается в амортизационных отчислениях, которые в строительной технике выражаются определенным коэффициентом β . С учетом времени (в годах) модуль качества возведенных стен будет выглядеть так:

$$M_k = M_{k0}(t_0 - \beta t) = M_{k0}(1 - \beta t)$$

Выводы

На наш взгляд, предложенный комплексный критерий или модуль качества стеновых материалов и ограждающих конструкций (в том числе и с учетом многочисленных поправочных коэффициентов) достаточно нагляден и понятен.

Имеет все перспективы стать одним из важнейших показателей в строительной практике. Позволит со временем дисциплинировать многофакторную строительную индустрию и строительную экономику по единым критериям цена/качество, рассчитанным, например, на 100-150 летний период и учитывающим все издержки за этот период, включая эксплуатационные, ремонтные и другие. В настоящее время требования по долговечности полностью исключены из нормативной документации.

Наглядно докажет последствия ошибочного подхода к решению проблемы энергосбережения в эксплуатации зданий за счет чрезмерного повышения уровня теплоизоляции наружных стен.

Литература

1. Бессонов И.В. Комплексные исследования теплофизических свойств пеногипса и возможности его применения в ограждающих конструкциях. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. г.Москва, 1996 г.
2. Давидюк А.Н. Конструкционно-теплоизоляционные легкие бетоны на стекловидных пористых заполнителях. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Г.Ростов-на-Дону, 2009 г, 381 с.
3. Дульнев Г.Н, Новиков В.В. Процессы переноса в неоднородных средах. -Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отд-ние, 1991. – 248 с.
4. Кривицкий М.Я., Левин Н.И., Макаричев В.В. Ячеистые бетоны (технология, свойства и конструкции). Издательство литературы по строительству, М., 1972.- 137 с.
5. Пинскер В.А. “Экспериментально-теоретические исследования влияния плотности на прочность и модуль упругости автоклавных ячеистых бетонов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. г.Ленинград, 1980 г.
6. Теплотехнический справочник. Под общей редакцией В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. В 2-х т.Т.2. Изд. 2-е, перераб. М., «Энергия», 1976г, 896 с.
7. Теплотехнический справочник. Под общей редакцией В.Н. Юренева и П.Д. Лебедева. В 2-х т.Т.1. Изд. 2-е, перераб. М., «Энергия», 1975г, 744 с.
8. Сапелин Н.А, Сапелин А.Н. Влияние структуры пустот на прочность силикатных строительных материалов. Строительные материалы, май 2011, стр.44-48.