



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОКУПАЕМОСТЬ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ МЕРОПРИЯТИЙ

В начале статьи разберем существенный для методологии нормирования технических характеристик вопрос — нормирование величин, не являющихся целевыми показателями или самостоятельными потребительскими характеристиками.

ТЕПЛОЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА ЗДАНИЯ — СМЕНА ПАРАДИГМ НОРМИРОВАНИЯ

Проектирование конструкций, в первую очередь несущих, с момента возникновения понятия «проектирование» проводится в русле единой методологической парадигмы. Целью проектирования является создание конструкции, воспринимающей расчетные нагрузки и воздействия при сохранении формы и целостности в течение заданного срока службы при минимальных затратах на ее устройство. Парадигма — разумная достаточность сопротивляемости воздействиям — не менялась на протяжении всей истории проектирования.

Иное дело — нормирование теплозащитных свойств ограждающих конструкций. Сейчас оно переживает вторую смену методологической парадигмы за полвека.

Нормирование теплозащитных свойств ограждающих конструкций было формализовано на научной основе в 1920-х. Задача — *обеспечить минимально комфортный микроклимат в помещении*. Применительно к сопротивлению теплопередаче непрозрачных ограждающих конструкций она была формализована через два требования:

- 1) отсутствие конденсата на внутренних поверхностях ограждений в зоне теплопроводных включений;
- 2) температурный перепад между расчетной температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждения не более нормируемой величины (для стен жилых зданий $\Delta t_n = 6^\circ\text{C}$) [табл. 8 и п. 14 СНиП II-В.3-58 «Строительная теплотехника»].

Первая смена парадигмы нормирования теплозащитных свойств проходила в два этапа и не была осознана современниками как таковая. В СНиП II-А.7-71 был введен раздел 6 «Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций из экономических условий». Раздел нормировал экономическую обоснованность повышения теплозащитных свойств ограждающих конструкций сверх требований обеспечения комфорта. Расчет велся при нормативном сроке окупаемости мероприятий, увеличивающих капиталоемкость строительства. В СНиП II-3-79 нормируемой характеристикой стало приведенное сопротивление теплопередаче (как величина, характеризующая теплопотери через ограждение, а не параметры микроклимата). Таким образом, к 1979 г. целью теплотехнического проектирования стала *минимизация*

затрат на возведение и эксплуатацию зданий при обеспечении комфортности пребывания в них. Минимизация суммарных затрат достигалась через нормирование капитальности (долговечности) и окупаемости.

Вторая смена парадигмы нормирования происходит сейчас (табл. 1). Первый ее этап (изменения № 3 и 4 к СНиП II-3-79*) был осуществлен с методологической ошибкой. Целевыми стали требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций, при том что постулируемой целью являлось «энергосбережение». Второй этап (ввод в действие СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий») частично исправил ошибки первого введением нормирования удельного расхода энергии на отопление. Тем не менее в СНиП 23-02 была сохранена возможность свести проектирование тепловой защиты к выполнению требований к отдельным элементам оболочки здания. Завершающий этап перехода на новую парадигму нормирования реализован выходом СП 50.13330 — актуализированной редакцией СНиП «Тепловая защита зданий». В СП 50.13330 отменена возможность «поэлементного» проектирования тепловой защиты, позволявшего не учитывать фактические удельные теплопотери.

Целью тепловой защиты с 1995 г. постулирована *минимизация расхода энергии на отопление зданий* (или, что более верно, — на поддержание требуемых параметров микроклимата) при обеспечении комфортности пребывания в них. Целевой показатель — табличные значения удельного расхода энергии на отопление в зависимости от размеров здания и вне зависимости от длительности и интенсивности отопительного периода.

Существующее целеполагание — минимизация удельных теплопотерь. Основная расчетная величина теперь не температура внутренней поверхности ограждающей конструкции и не окупаемость мероприятий по снижению расходов на компенсацию теплопотерь, а удельная теплозащитная характеристика здания (приведенная к единице объема интенсивность теплопотерь при разнице температуры в 1°C). Если наша цель — снизить теплопотери, то утрачивают физический смысл нормативные требования к сопротивлению теплопередаче отдельных элементов ограждающей оболочки. Так было в 1970-х гг.: с введением понятия «экономически целесообразное сопротивление теплопередаче» физический смысл обрело приведенное сопротивление теплопередаче оцениваемой конструкции. Так произошло и сейчас: с введением нормирования «удельного расхода тепловой энергии на отопление» физический смысл обрело понятие приведенного сопротивления теплопередаче всей теплозащитной оболочки здания, а значения сопротивлений теплопередаче отдельных конструкций стали промежуточными и вспомогательными величинами, а не нормируемыми для достижения цели параметрами.

Период	Цель, достигаемая в рамках текущей парадигмы	Задача проектирования тепловой защиты	Нормируемые параметры	Расчетные параметры региона строительства
1929–1979	Минимизация затрат на возведение зданий	Комфортность пребывания в помещении	Сопротивление теплопередаче (температурный перепад $\Delta t_{\text{н}}$; отсутствие конденсата на внутренних поверхностях $t_{\text{в}} > t_{\text{р}}$)	Расчетная температура $t_{\text{н}}$ (наиболее холодных суток или наиболее холодной пятидневки в зависимости от тепловой инерции)
1979–1995	Минимизация затрат на возведение и эксплуатацию зданий	Комфортность пребывания в помещении и экономическая целесообразность теплозащитных мероприятий	Приведенное сопротивление теплопередаче ($\Delta t_{\text{н}}$; $t_{\text{в}} > t_{\text{р}}$, экономически целесообразное приведенное сопротивление теплопередаче $R_{0\text{экон}}$)	Расчетная температура $t_{\text{н}}$ (наиболее холодных суток или наиболее холодной пятидневки в зависимости от тепловой инерции)
1995–2003	Увеличение сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций	Выполнение табличных требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций	Табличные требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций	Длительность и интенсивность отопительного периода (ГСОП)
2003 – наст. вр.	Минимизация расхода энергии на отопление	Экономия энергии на отопление	Удельная теплозащитная характеристика здания; $t_{\text{в}} > t_{\text{р}}$, $\Delta t_{\text{н}}$	Длительность и интенсивность отопительного периода (ГСОП)

Таким образом, мы видим, что тепловая защита зданий в своем нормировании прошла несколько этапов.

Первой задачей нормирования стало обеспечение минимального комфорта в помещении. Задача выполнялась через требования к сопротивлению теплопередаче.

Позже была сделана попытка снизить суммарные затраты на возведение и эксплуатацию зданий. Объектом нормирования стало приведенное сопротивление теплопередаче.

Сейчас законодательство требует от строителей снизить потребление энергии в отопительный сезон. Нормативный смысл обретает удельная теплозащитная характеристика здания, а требования к отдельным элементам ограждения возвращаются в разряд конструктивных.

Однако на современном уровне развития вычислительных методов созданы предпосылки для очередной смены парадигмы нормирования тепловой защиты. Сейчас мы можем перейти к реальному повышению энергоэффективности: нормированию суммарных энергозатрат на возведение, эксплуатацию и утилизацию здания (табл. 2).

ТЕПЛОЗАЩИТНАЯ ОБОЛОЧКА ЗДАНИЯ – УСЛОВНОСТЬ ЧЛЕНЕНИЯ НА ЭЛЕМЕНТЫ

Традиционно здание рассматривается как совокупность отдельных элементов — стен, кровель, перекрытий и покрытий. Строительная теплотехника оперирует и уточненными понятиями: перекрытие над проездом, перекрытие над проветриваемым подпольем. Такое членение интуитивно понятно и не требует специальных дефиниций. С введением понятия «приведенное сопротивление теплопередаче» пришлось вводить уточняющие определения элементов, подлежащих расчету. Например: «...наружных стен... с учетом откосов проемов без учета их заполнений».

После введения нормирования тепловой защиты по удельному показателю расхода тепловой энергии на отопление здания исчезает потребность в членении оболочки здания на элементы вообще, поскольку целью расчета является определение суммарных теплопотерь через оболочку. При этом вклад отдельных элементов оболочки в общую структуру теплопотерь не имеет принципиального значения и не является предметом нормирования. При таком подходе к теплозащитной оболочке здания к нормируемым параметрам отдельных элементов оболочки может быть возвращена функция, возложенная на них изначально, — проверка соответствия условиям комфортности пребывания через нормируемый температурный перепад и отсутствие конденсации на внутренней поверхности ограждения.

ОСНОВНАЯ НОРМИРУЕМАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОЛОЧКИ ЗДАНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ЗАДАЧИ НОРМИРОВАНИЯ

Таблица 2

Период	Задача нормирования	Основная нормируемая характеристика
1929–1979	Обеспечение комфорта	Сопротивление теплопередаче ограждающих конструкций
1979–1995	Минимизация суммарных затрат на возведение и эксплуатацию	Приведенное сопротивление теплопередаче фрагментов оболочки здания
2003 – наст. вр.	Снижение расхода энергии на отопление	Удельная теплозащитная характеристика здания
Предложение по развитию требований	Снижение расхода энергии на всех стадиях жизненного цикла зданий	Удельная энергоемкость возведения и эксплуатации здания

КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Традиционно требования, предъявляемые к различным элементам и характеристикам конструкций без расчетов, обозначаются термином «конструктивные». Вопрос назначения таких требований имеет удовлетворительное мотивированное решение в нормах проектирования применительно бетонным и железобетонным конструкциям (СП 63.13330.2011, раздел 10). Применительно к каменным и армокаменным конструкциям вопрос был хорошо проработан к исходу 1950-х (СНиП II-В.2-58 «Каменные и армокаменные конструкции»), но к сегодняшнему дню часть ограничений, принимаемых вне зависимости от результатов расчетов, устарела и оторвалась от мотивировочных соображений, легших в их основу (СП 15.13330.2012).

Целью конструктивных ограничений являются соображения безопасности и технологичности — минимальные сечения назначаются исходя из соображений технологической исполнимости проектных решений и граничных условий принятых расчетных положений. Так, например, минимальная конструктивная толщина железобетонной балки учитывает необходимые защитные слои, размер заполнителя и возможность уплотнения бетонной смеси. Поэтому конструктивные требования к элементам заводской готовности и к монолитным конструкциям различаются.

Конструктивными с 2003 г. становятся и требования к приведенному сопротивлению теплопередаче отдельных элементов теплозащитной оболочки здания. Введение нормирования удельного расхода тепловой энергии на отопление сделало требования к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций второстепенными, а их нормирование приобрело характер конструктивных требований. Полный переход на нормирование тепловой защиты по величине удельных теплопотерь окончательно закрепляет за требованиями к сопротивлению теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций формат конструктивности. Они не являются более целевыми показателями. Целевой показатель один — удельный расход энергии на поддержание заданных параметров микроклимата. Целевое требование к теплозащитной оболочке здания — удельная теплозащитная характеристика.

Теперь поговорим об энергетическом эффекте от роста требований к сопротивлению теплопередаче ограждающих конструкций.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ РАСХОД ЭНЕРГИИ НА ОТОПЛЕНИЕ И ЛИЧНЫЙ ТРАНСПОРТ

Таблица 3

Потребитель	Бензин, л/год	Принятые для оценки исходные данные
Квартира, 75 м ²	250	Площадь наружных ограждений 50 м ² с R _{ср} = 2 м ² / (Вт·°С) при ГСОП = 5000. Вентиляция не учтена
Частный дом, 200 м ²	1200	Площадь наружных ограждений 350 м ² с R _{ср} = 3 м ² / (Вт·°С) при ГСОП = 5000. Вентиляция не учтена
Автомобиль, 1,4 дм ³	2400	Пробег 30 000 км с расходом 8 л/100 км

Цель установления требований энергетической эффективности (в редакции п. 7 постановления Правительства РФ № 18 от 25.01.2011) — снизить годовой расход энергии в зданиях.

Требования к пп. 8, 9 (к конструкциям и инженерным системам) фиксируют методы достижения цели и не предусматривают поэтапного пересмотра. Этапность заключается в разнесенных сроках внедрения конструктивных требований. Повышать требования к оболочке здания постановление не требует. Требуется снизить расход энергии в зданиях.

ПОТЕНЦИАЛ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ ПРИ ПОВЫШЕНИИ ТРЕБОВАНИЙ К ОГРАЖДАЮЩИМ КОНСТРУКЦИЯМ

Здесь и далее приведены оценочные цифры. Их цель — не выявить абсолютные значения величин, а задать направление для детальной проработки.

Доля зданий в потреблении энергии экономикой России ~25 %.

Доля трансмиссионных теплопотерь через оболочку в энергопотреблении зданий ~20 %.

Доля стен в теплопотерях через оболочку ~40 %.

Доля стен зданий в энергопотреблении экономики 0,25 × 0,2 × 0,4 = 2 %.

Уменьшение теплопотерь через все стены на 40 % — снижение энергопотребления в стране на 0,8 %.

Ежегодное обновление фонда зданий — менее 2 % (вводится и реконструируется менее 100 млн м² при общем фонде 5 млрд м²).

Если задаться целью снизить трансмиссионные теплопотери всех новостроек на 40 %, то за 10 лет от начала внедрения новых требований мы снизим энергопотребление в России менее чем на 0,25 %. Полная реновация всего фонда зданий с уменьшением трансмиссионных теплопотерь в 2 раза приведет к снижению энергопотребления на 2,5 % — глубоко в пределах инженерной погрешности.

Для понимания скромной роли оболочки зданий в общем потреблении энергии экономикой приведу простой пример, сведенный для наглядности в таблицу 3.

НЕОБХОДИМЫЕ ЭНЕРГОЗАТРАТЫ НА ПОВЫШЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ СТЕН ЗДАНИЙ

Для уменьшения затрат энергии на компенсацию теплопотерь через ограждающую конструкцию на 40 % необходимо увеличить ее сопротивление теплопередаче на $[1/(1-0,4) = 1,67]$ 67 %.

Приведенное сопротивление теплопередаче непрозрачных конструкций по СП 50.13330.2012, усредненное для всей страны, оценим в R = 3,0 м²·°С/Вт. Для снижения теплопотерь на 40 % необходимо увеличить R с 3,0 до 5,0 м²·°С/Вт.

При использовании, например, базальтовой ваты плотностью 80 кг/м³ с учетом неоднородности конструкции это потребует дополнительно 0,12 м³/м² теплоизоляционного материала или 290 кВт·ч/м² стены

единовременных энергозатрат на производство и монтаж изоляции (без учета затрат на последующее обслуживание усложнившейся конструкции). При этом предотвращенные теплопотери составят 15 кВт·ч/м² в год.

Рост энергоемкости строительства составит 2,5 млн toe/год (29 млрд кВт·ч/год) из 700 млн ТОЕ общего потребления энергоресурсов в России (0,35%).

Эффективность повышения требований к ограждающим конструкциям зависит от отношения затраченной на реализацию требований энергии к полученному энергосбережению.

При существующей структуре строительной отрасли и промышленности строительных материалов прямой энергетический эффект от повышения требований к ограждающим конструкциям может появиться не ранее 25 лет от начала внедрения (при идеальной реализации).

За 10 лет от начала внедрения повышенных требований к оболочке здания годовое энергопотребление зданиями может быть снижено менее чем на 12 млрд кВт·ч, при условии, что годовое энергопотребление строительной отраслью вырастет на 29 млрд кВт·ч.

Энергоемкость на всех стадиях жизненного цикла для различных материалов различна. В общем случае энергоемкость утеплителей на основе стеклянного волокна меньше, чем на основе базальтового. Энергоемкость полимеров меньше энергоемкости минеральных волокнистых материалов, остуженных из расплавов. Энергоемкость низкоплотных материалов, произведенных на основе гидратационных вяжущих

(и автоклавного, и естественного твердения) меньше энергоемкости большинства полимеров.

Для оценки энергоемкости материалов на всех стадиях жизненного цикла разрабатываются универсальные процедуры. Например, вводится понятие экологической декларации. В наше нормативное поле эти декларации попадают через ГОСТ Р ISO 14025-2012 «Этикетки и декларации экологические. Экологические декларации типа III. Принципы и процедуры». В этих процедурах есть что критиковать, но направление, в котором развивается нормирование энергоемкости зданий, они показывают.

РЕЗЮМЕ

Поскольку в России нет значимых дотаций и субсидий ни производителям, ни потребителям энергии, экономическая окупаемость энергосберегающих мероприятий коррелирует с их энергетической окупаемостью. Следовательно, не следует требовать внедрения некупаемых мероприятий.

Основной путь к реальному энергосбережению — повышение розничных цен на энергоносители.

При проектировании теплозащитной оболочки здания не следует прибегать к формальному членению ее на «стены», «крыши», «полы», «откосы» — теплопотери следует оценивать комплексно.

Дальнейшее нормотворчество следует развивать в русле комплексной оценки энергоемкости строительной отрасли и ЖКХ, без директивных требований к увеличению энергозатрат сегодня в ожидании неопределенного энергосберегающего эффекта в будущем. ●