

## ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ НА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Хинканин Л.А.<sup>1</sup>, Хинканин А.П.<sup>1</sup>

*ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет», Россия 424003, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д.3; kpz@volgatech.net*

Проблемы энергосбережения, отраженные в ФЗ № 261 «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», обязательные к решению на всей территории Российской Федерации, оказываются под угрозой невыполнения. Как следует из опыта проектирования, статей и публикаций по этой тематике, одной из основных причин является несоответствие заявленного приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций фактическому его значению. Разница в зависимости от объекта может достигать 20-30%. В настоящее время в практике проектирования не всегда учитывают геометрию и теплотехнические неоднородности ограждающих конструкций, что негативно сказывается на теплозащитных свойствах возводимых конструкций. В статье рассматриваются отдельные примеры из строительной практики.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, приведенное сопротивление теплопередаче, теплотехнические неоднородности, численное моделирование

## THERMO TECHNICAL INHOMOGENEITIES IN ENCLOSING CONSTRUCTIONS

Hinkanin L.A., Hinkanin A.P.

*FGBOU VPO «Volga State University of Technology», 424006 Russia, Yoshkar-Ola square. Lenin, 3, Email: kpz@volgatech.net*

The problems of energy saving, as reflected in 261 Federal Law «On energy saving and energy efficiency improvements and amending the Certain Legislative Acts of the Russian Federation», obligatory for solution of on the entire territory of the Russian Federation, are under threat of default. As follows from the experience of designing, articles and publications on the subject, one of the main reasons is the inconsistency alleged reduced R-value of its actual value. The difference, depending on the object, can reach up to 20-30%. Currently, the practice of design are not always take into account the geometry and thermal engineering heterogeneity building envelopes, which adversely affects the heat-shielding properties of the constructed structures. The article deals with some examples of the construction practice.

Keywords: building envelope reduced thermal resistance, thermo technical inhomogeneities, numerical modeling

Здания, возводимые в последние годы, разительно отличаются от тех, что были построены несколько десятилетий назад. Прежде всего в глаза бросается разнообразие их форм и объемов. Специалисты, участвующие в процессе проектирования, наблюдают возросшее разнообразие применяемых конструкций и материалов. Сказанное в полной мере относится и к техническим решениям ограждающих конструкций зданий. Структура ограждающей оболочки зданий стала более сложной, неоднородной, насыщенной материалами с резко отличающимися прочностными, деформационными и теплотехническими свойствами.

Одновременно с этим продолжается обсуждение проблемы повышения теплозащитных свойств ограждающих оболочек зданий [3, 9]. Как следует из последних публикаций [4], существенного эффекта от заявленных в ФЗ-261 мероприятий не получено. Как нам кажется,

одной из причин такого положения является несоответствие заявляемых в проектной документации теплотехнических качеств ограждающих оболочек зданий их реальным значениям. Подтверждением тому служит наш собственный опыт, полученный в ходе обследования построенных зданий и общения со специалистами проектных и экспертных организаций.

Существовавшая долгие годы методика теплотехнического проектирования ограждающих конструкций [6] достаточно точна и проста при разработке теплотехнически однородных ограждающих оболочек. Неоднородные конструктивные решения (колодцевая кладка кирпичных стен) несколько усложняли процесс проектирования. При этом предлагалось определять приведенное сопротивление с учетом потоков теплоты, распространяющихся нормально и параллельно внешним граням ограждения. Ограничением служило превышение первых над вторыми на 25%. На примере многослойных кирпичных стен, выполненных по серии 2.130-8[5], можно показать, что рассмотренная методика работает при соотношении коэффициентов теплопроводности каменной кладки и утеплителя ( $\lambda_{\text{кам}}/\lambda_{\text{ут}}$ ) не более чем 10:1. В противном случае говорилось о необходимости воспользоваться расчетом по температурным полям. Сопротивление теплопередаче панельных стен предлагалось корректировать коэффициентом теплотехнической однородности  $g$ .

В СП 23-101[7] однозначно заявлено о необходимости проведения теплотехнических расчетов неоднородных наружных ограждающих конструкций по температурным полям. В нормах [8] предложено определять приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента теплозащитной оболочки здания с учетом удельных потерь теплоты плоскими, линейными и точечными неоднородностями. Аналогичный подход применен в западноевропейских нормах [10].

Всеобщее стремление минимизировать затраты энергии на создание и поддержание комфортных параметров микроклимата в зданиях определяет необходимость более достоверных способов оценки теплотехнических качеств технических решений, принимаемых в проектной документации.

Строящиеся в России здания отличаются друг от друга огромным разнообразием объемно-планировочных параметров, конструктивных решений ограждающих оболочек и климатическими параметрами окружающей среды. В этой связи нам кажется целесообразной разработка территориальных каталогов «типовых» конструктивных узлов с линейными и точечными теплотехническими неоднородностями и соответствующих им удельных потерь теплоты. Такие пособия могли бы быть востребованы при проектировании жилых зданий как массового вида строительства. Проектирование крупных общественных зданий, отличаю-

щихся несравненно большим разнообразием принимаемых технических решений, потребует скорее всего «индивидуального подхода».

Проиллюстрируем эти положения на конкретных 2-D и 3-D примерах. В качестве первого из них приведем решение, широко применяемое в республике Марий Эл. Это самонесущая стена, выполненная из ячеисто-бетонных блоков, опирающаяся на междуэтажное перекрытие [1]. На рисунке 1 представлено распределение температур на внутренней поверхности стен, выполненных из газобетона плотностью 400, 600 и 800 кг/м<sup>3</sup>. Мелкие ячеисто-бетонные блоки ( $\delta_1=500$  мм) оштукатурены с внутренней стороны и облицованы с наружной стороны кирпичной верстой ( $\delta_2=120$  мм). Суммарная толщина стены 640 мм. Кирпич и газобетонные блоки связаны посредством стальных скоб-анкеров.

Анализ результатов моделирования позволяет утверждать, что зона существенного влияния перекрытия на исследуемые параметры в данном конструктивном решении распространяется на 500 мм выше перекрытия и на 600 мм ниже перекрытия.

Температура поверхности стены на отметке 0,000 (примыкание стены к полу) изменяется от 19,00°C (для D400) до 18,00°C (для D800). На отметке 2,500 (участок примыкания стены к потолку) температура изменяется от 18,65°C (для D400) до 17,95°C (для D800). Средняя температура по глади стены составила 18,80°C (для D400), 18,10°C (для D600) и 17,49°C (для D800).

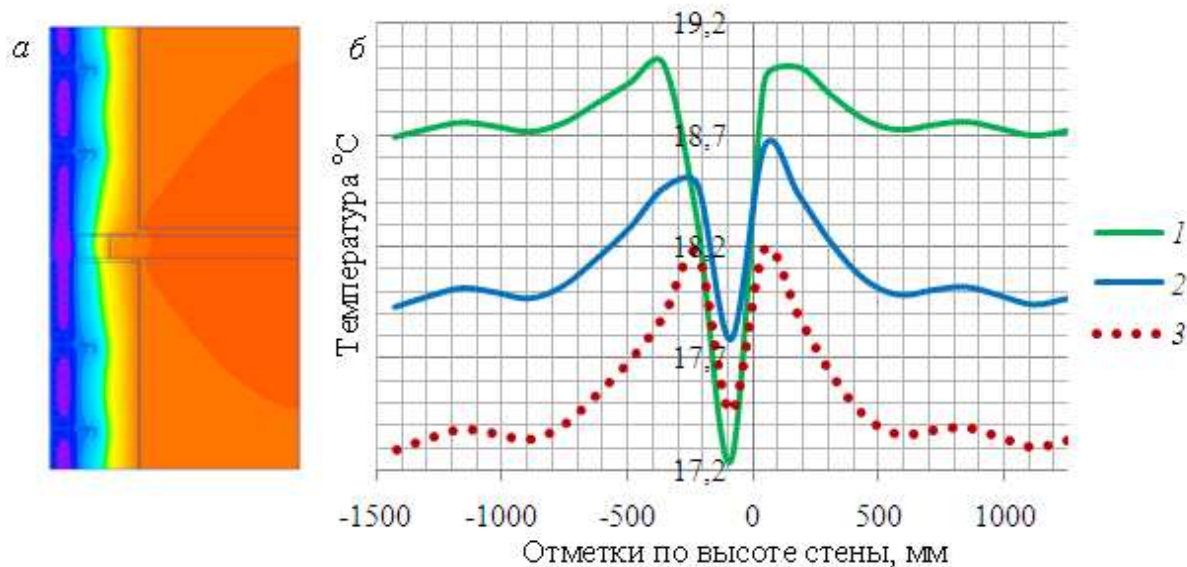


Рис. 1. Распределение температур на внутренней поверхности стен в условиях нестационарной теплопередачи: а – термограмма; б – график распределения температур: 1 – стена с плотностью бетона D800; 2 – стена с плотностью бетона D 600; 3 – стена с плотностью бетона D 400

Проиллюстрируем процесс уточнения оценки сопротивления теплопередаче и температур на поверхности рассматриваемых конструктивных решений стен. В первом варианте оценки пренебрегается влиянием анкеров и железобетонного перекрытия. Во втором варианте учтено влияния скоб-анкеров. В третьем случае дополнительно учитывается влияние железобетонного перекрытия. Результаты таких оценок сведены в таблицу 1 в виде трех вариантов.

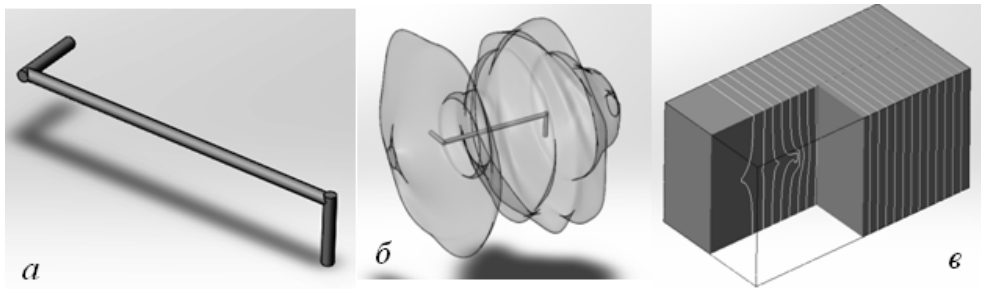
Из представленных данных следует, что стальные анкера-скобы и междуэтажные перекрытия снижают коэффициент теплотехнической однородности на 18–20%. Вероятно, влияние оконных откосов приведет к еще более существенному понижению численных значений этого коэффициента.

**Таблица 1**

Оценка влияния теплотехнических неоднородностей

Вариант расчета	Параметры	Стена с маркой бетона D		
		D400	D600	D800
1	$R1, \text{ м}^2 \times \text{°C} / \text{Вт}$	3,664	2,254	1,682
	$r1$	1,00	1,00;	1,00
	$\tau^{\text{BH}}1_{\text{ср}}, \text{°C}$	18,93	18,27	17,68
2	$R2 \text{ м}^2 \times \text{°C} / \text{Вт}$	3,106	1,895	1,394
	$r2$	0,848	0,841	0,829
	$\tau^{\text{BH}}2_{\text{ср}}, \text{°C}$	18,80	18,10	17,49
3	$R3 \text{ м}^2 \times \text{°C} / \text{Вт}$	2,885	1,847	1,375
	$r3$	0,787	0,819	0,817
	$\tau^{\text{BH}}3_{\text{ср}}, \text{°C}$	18,77	18,09	17,49

В плоской постановке задачи влияние теплотехнических неоднородностей несколько отличается от результатов, получаемых при трехмерном моделировании. Так, например, в 2D модели влияние металлических скоб-анкеров на теплотехнические свойства ограждений приводит к заниженному значению коэффициента теплотехнической однородности. В плоской задаче этот анкер представлен в виде линейного «мостика». Реальная картина учета влияния анкеров несколько отличается, так как анкер представляет собой точечный «мостик холода». Оценка влияния этого анкера в трехмерной постановке (рис. 2) на свойства ограждения повышает значение коэффициента теплотехнической однородности примерно на 1%. Объем ограждающей конструкции, в котором ярко выражено влияние анкеров на теплотехнические свойства стены, достигает 19,5% от объема всей конструкции [2].



*Рис. 2. Модель стальной скобы-анкера и области ее влияния: а – скоба-анкер; б и в – область «возмущения» температурных полей*

Численное моделирование процессов теплообмена позволяет проследить ход изменения температур и тепловых потоков с учетом многосуточных колебаний температуры окружающей среды. Принято считать, что расположение конструктивных слоев в ограждении влияет исключительно на процессы массопереноса. В таких случаях, как правило, говорят о возможности увлажнения утеплителя и развития патогенной микрофлоры при расположении его со стороны помещения. Однако представленные на рисунке 3 результаты моделирования нестационарного теплообмена свидетельствуют о весьма существенных отличиях в процессе теплопередачи. Нестационарный процесс представлен «осенним», «зимним» и «весенним» периодом теплопередачи. Каждый из названных периодов ограничен 10 сутками (240 ч). В рассмотренной модели температура воздуха окружающей среды в «осенний период» снижалась с  $+8^{\circ}\text{C}$  до  $-14^{\circ}\text{C}$ . В течение этого периода температура наружного воздуха совершала суточные колебания с амплитудой  $5^{\circ}\text{C}$ . Далее наступал «зимний период» с среднесуточной температурой  $-14^{\circ}\text{C}$  и амплитудой колебаний  $-5^{\circ}\text{C}$ . Последний, «весенний период» являлся зеркальным отражением «осеннего периода». Температура наружного воздуха при этом повышалась от средних значений  $-14^{\circ}\text{C}$  до  $+8^{\circ}\text{C}$  с той же амплитудой колебаний. В качестве объекта исследования в данном случае рассмотрено два варианта утепления кирпичной стены, выполненной из силикатного кирпича ( $\delta_1=640$  мм) и утепленной экструзионным пенополистиролом ( $\delta_2=60$  мм). С обеих сторон стена оштукатурена. Сопротивление теплопередаче такой стены равно  $2,44 \text{ м}^2 \times ^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ . В первом случае (стена тип 1) утеплитель установлен на наружную поверхность стены и закрыт штукатуркой. Во втором случае (стена тип 2) он расположен на внутренней стороне стены. Температура воздуха в помещении принята постоянной и равнялась  $+20^{\circ}\text{C}$ . Из представленного графика следует, что при утеплении стены с наружной стороны температура на внутренней ее поверхности превышает значения температуры, получаемые при утеплении стены с внутренней стороны.

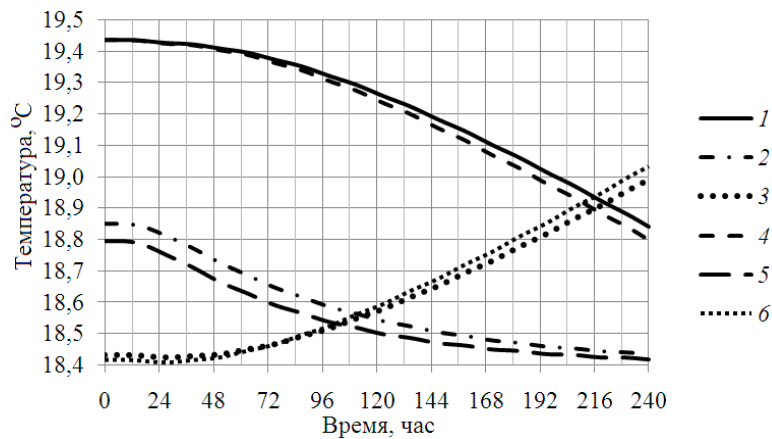
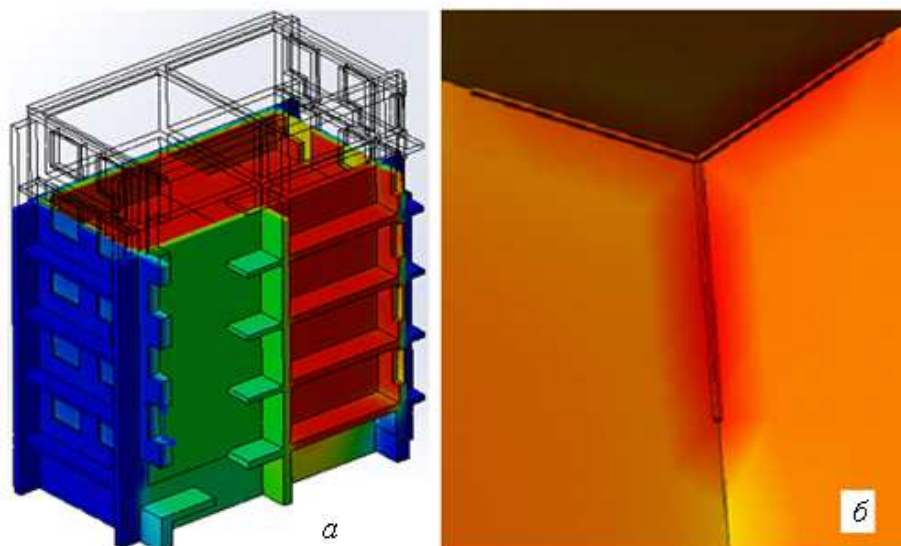


Рис. 3. Изменение температуры на внутренней поверхности стен в процессе нестационарного теплообмена. Стена типа 1: 1 — «осень», 2 — «зима», 3 — «весна». Стена типа 2: 4 — «осень», 5 — «зима», 6 — «весна»

Еще более значимые результаты позволяет получить трехмерная оценка теплотехнических свойств ограждающих оболочек в ходе исследования различных проектных ситуаций. Так, в последние несколько лет широкое распространение получило строительство жилья с поквартирным отоплением. Такой способ отопления здания предполагает горизонтальную разводку трубопроводов отопления. В этой связи становится актуальным требование нормативных документов по проверке углов помещений на соблюдение санитарно-гигиенических норм (предотвращение образования конденсата). Так, на рисунке 4 представлен фрагмент торцевой блок-секции пятиэтажного жилого дома с поквартирным отоплением. В представленном объемно-планировочном решении на 4-м и 5-м этажах была организована лоджия посредством смещения наружной стены в глубь здания на 1200 мм. Только 3-мерное моделирование позволило выявить проблему, возникающую на участке стыка стен и потолка квартир, расположенных на 3-м этаже. Все рассмотренные варианты утепления углов квартиры не обеспечивали санитарно-гигиенических норм. В конечном итоге было принято решение о прокладке греющих кабелей (рис. 4б). Суммарная мощность кабелей, проложенных в квартире, составила 60 Вт. Наличие этих кабелей не допускает образования конденсата. Их применение предполагается при понижении температуры наружного воздуха ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ . Продолжительность таких погодных условий в г. Йошкар-Ола с вероятностью 92% не превышает 156 ч. За это время владелец квартиры (одно помещение — 2 угла) израсходует до 9,4 кВт·ч электроэнергии за отопительный сезон. Вероятно, это не слишком обременительно за поддержание комфортных условий в жилье.



*Рис. 4. Проверка углов помещений в доме с поквартирным отоплением: а – модель торцевой блок-секции жилого дома; б – термограмма повышения температуры на поверхности ограждений греющими кабелями*

Трехмерное моделирование позволяет с большей достоверностью оценить затраты теплоты, необходимые для создания и поддержания требуемых микроклиматических параметров среды в помещениях. В ряде проектных ситуаций этот подход является, пожалуй, единственным способом обеспечить приемлемую оценку. Так, на одном из объектов проектирования (автосалон) первоначальные предположения оказались сверхоптимистичными. На некоторых участках здания, имевшего пять различных типов технических решений ограждающих конструкций (вентилируемые фасады, сэндвич-панели, «мокрый» фасад) и два типа покрытия (совмещенное и с холодным чердаком), несоответствия достигали 50%. В настоящее время достаточно просто провести физическую проверку соответствия заявляемых проектных значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций зданий и удельных затрат теплоты на отопление здания, поскольку все вновь строящиеся объекты оборудованы приборами учета. Поэтому названная проверка сводится к нескольким арифметическим операциям.

Конструктивные решения наружной оболочки зданий стали более сложными и дорогостоящими. Их устройство требует привлечения квалифицированных и добросовестных производителей работ. Те упущения, которые могут появиться как на стадии проектирования, так и на стадии строительства, способны свести на нет все усилия и затраты на достижение заявленной цели. Именно поэтому переход на численное моделирование процессов теплопередачи в строительном проектировании является необходимым.

#### Список литературы

1. Альбом технических решений по применению стеновых блоков, плит перегородок из автоклавного газобетона компании Н+Н для строительства многоэтажных жилых, общественных и промышленных зданий // СПб., 2009. – 81 с.
2. Влияние теплопроводных включений на температурные поля в пористых телах / Л.А. Хинканин//Сборник материалов международной молодежной научной конференции по естественным и научным дисциплинам «Научному прогрессу — творчество молодых» Йошкар-Ола, 19-20 апреля 2013. С. 177–179.
3. Неоконченная история с реализацией в практику проектирования энергоэффективных зданий / В.И. Ливчак // Энергосовет. — 2014. — №6 (37) – С. 39–48.
4. Первая пятилетка: итоги и уроки Е.Г. Гашо // Энергосовет. — 2014. — №6 (37) – С. 31–35.
5. Серия 2.130-8. Вып. 1. Детали многослойных кирпичных и каменных наружных стен жилых и общественных зданий. Рабочие чертежи. ЛенЗНИИЭП, ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 71 с.
6. СНиП II-3-79\* Строительная теплотехника. Госстрой России. Москва. 1998.
7. СП 23-101-2004 Проектирование тепловой защиты зданий //М. ФГУП ЦПП, 2004. – 141 с.
8. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий // М. ФАУ ФЦС, 2012. – 95 с.
9. Теплозащита наружных стен зданий с облицовкой из кирпичной кладки / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов, С.И. Крышов, О.И. Пономарев //АВОК – 2009. — № 6. – С. 48–55.
10. Техническое регулирование в странах Европейского Союза / Ю. А. Матросов // Бюллетень строительной техники. — 2006. — № 2. — С. 32–37.

**Рецензенты:**

Поздеев А.Г., д.т.н., профессор ПГТУ, ИСА, г. Йошкар-Ола;  
Салихов М.Г., д.т.н., профессор ПГТУ, ИСА, г. Йошкар-Ола.