



ОЦЕНКА ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ ИЗ ГАЗОБЕТОННЫХ БЛОКОВ

С. В. Корниенко, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»; **Н. И. Ватин**, доктор техн. наук, профессор, директор Инженерно-строительного института, заведующий кафедрой ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО СПбПУ); **А. С. Горшков**, канд. техн. наук, директор учебно-научного центра «Мониторинг и реабилитация природных систем» ФГАОУ ВО СПбПУ, главный технический советник проекта ПРООН-ГЭФ «Энергоэффективность зданий на Северо-Западе России»

Ключевые слова: здание, стены, автоклавный газобетон, газобетонные блоки, теплопроводность, термическое сопротивление, энергосбережение, энергетическая эффективность

Проанализируем результаты натурных испытаний¹ теплозащиты зданий из газобетонных блоков, расположенных в Волгоградской области. Покажем, что для рассматриваемого района строительства (ГСОП = 3 925 К • сут./год) двухслойные наружные стены без дополнительной теплоизоляции практически не имеют резерва по тепловой защите и энергосбережению.

¹ Описание испытаний см. в первой части статьи, опубликованной в журнале «Энергосбережение» № 6, 2016.

Результаты тепловизионного контроля

Полученные в процессе тепловизионного обследования термограммы позволили наглядно выявить температурные аномалии и определить дефекты в краевых зонах ограждающих конструкций зданий (рис. 1)². Подробный анализ теплотехнических дефектов выполнен в [1, 2]. Наличие температурных аномалий и дефектов в краевых зонах ограждающих конструкций приводит:

- к снижению температуры на внутренней поверхности ограждающих конструкций (радиационной температуры);
- к ухудшению параметров микроклимата помещений;
- к снижению теплотехнической однородности наружных стен;
- к росту потерь теплоты через оболочку в холодный период года.

Результаты тепловизионного контроля представляют собой ценную информацию, необходимую для правильной оценки уровня теплозащиты зданий. Они позволяют правильно выбрать краевые зоны ограждающих конструкций для теплотехнического расчета.

Результаты измерений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Результаты измерений сопротивления теплопередаче в различных точках теплозащитной оболочки здания показаны на рис. 2.

Результаты измерений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций обследованной группы зданий приведены в табл. 1. На основе измерений выполнена поэлементная оценка теплозащиты зданий

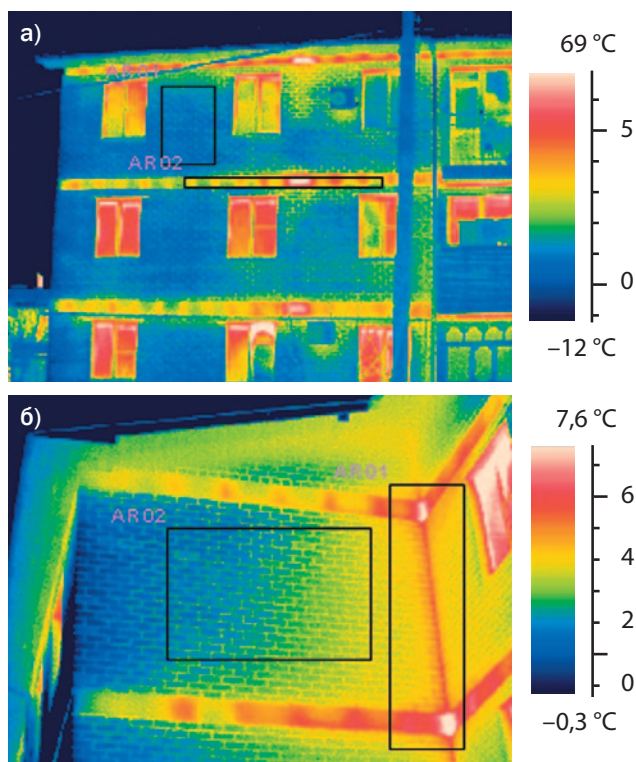
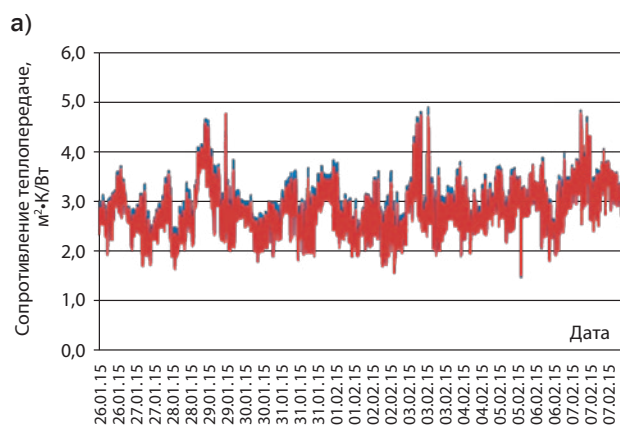


Рис. 1. Термограмма а) фрагмента фасада здания; б) выходящего и входящего углов

(табл. 2). Значения сопротивления теплопередаче, измеренные на различных участках ограждающих конструкций (табл. 3), колеблются в широких пределах, что указывает на высокую неравноэффективность теплозащиты оболочки. В краевых зонах ограждающих конструкций теплозащитные свойства значительно снижаются. Минимально допустимые поэлементные требования³ в целом не обеспечены.

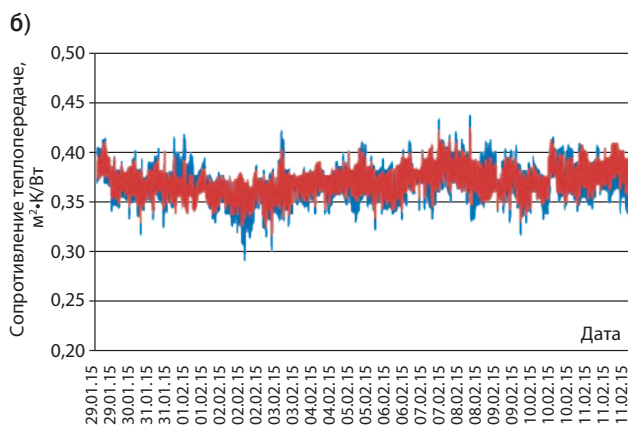


Рис. 2. Результаты измерений сопротивления теплопередаче а) в точке наружной стены (здание 1, кв. 2); б) в центральной части стеклопакета (здание 1, кв. 4)

² Дополнительный иллюстрационный материал см. в полной версии статьи на www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6511.

³ См. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», п. 5.1а.

Таблица 1 Фактические значения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций

Номер здания	Номер квартиры	Фактическое сопротивление теплопередаче, м ² • К/Вт			
		наружной стены	стеклопакета	чердачного перекрытия	перекрытия над техподпольем
1	1	1,85 ± 0,29	0,40 ± 0,02	–	2,64 ± 0,40
	2	2,89 ± 0,40	0,64 ± 0,19	–	3,34 ± 0,62
	3	2,12 ± 0,38	–	–	1,87 ± 0,55
	4	2,01 ± 0,53	0,40 ± 0,02	2,17 ± 0,55	–
2	5	0,95 ± 0,11	0,37 ± 0,01	–	–
	6	1,06 ± 0,13	0,31 ± 0,06	–	–
	7	2,30 ± 0,27	0,34 ± 0,02	0,76 ± 0,15	–
	8	2,00 ± 0,35	–	1,45 ± 0,22	–
3	9	1,59 ± 0,24	–	0,63 ± 0,07	–

Таблица 2 Поэлементная оценка теплозащиты зданий по результатам измерений

Ограждающая конструкция	Сопротивление теплопередаче, м ² • К/Вт	
	минимально допустимое	фактическое (измеренное)
Наружные стены	1,75	0,95–2,89
Окна	0,42	0,31–0,64
Чердачное перекрытие	2,94	0,63–2,17
Перекрытие над техподпольем	2,94	1,87–3,34

На основании измеренных значений сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций (табл. 1) и геометрических характеристик зданий⁴ выполнен расчет удельных тепловых потоков через оболочку здания:

- через наружные стены – 579 Вт/К;
- через окна, балконные двери – 624 Вт/К;
- через чердачное перекрытие – 502 Вт/К;
- через перекрытие над техподпольем – 160 Вт/К.

Как видно, большая часть теплопотерь (64%) осуществляется через фасады зданий, что объясняется существенным влиянием краевых зон наружных стен, а также низкими теплозащитными свойствами оконных блоков. Заметная доля теплопотерь через чердачное перекрытие (27%) обусловлена сравнительно низким уровнем теплоизоляции данной конструкции.

Оценочное значение фактической удельной теплозащитной характеристики здания равно 0,307 Вт/(м³ • К), что больше нормируемого значения, равного 0,257 Вт/(м³ • К). Таким образом, комплексное нормативное требование⁵ не выполнено.

Проверка ограждающих конструкций по санитарно-гигиеническим параметрам показала их несоответствие данному требованию⁶. Во многих случаях температура на внутренней поверхности ограждающих конструкций в краевых зонах была ниже точки росы внутреннего воздуха в холодный период года. В результате этого происходит конденсация влаги и образование плесневых грибов [1]. Наиболее опасными являются узлы сопряжений колонны с междуэтажным перекрытием и оконного блока со стеновым проемом (рис. 3).

Таким образом, по результатам натурных измерений установлено, что фактический уровень теплозащиты зданий не отвечает действующим требованиям СП 50.13330.2012.

Расчетная оценка уровня теплозащиты зданий на основе проектных данных

С целью выявления причин возникновения температурных аномалий и теплотехнических дефектов оболочки зданий выполнена расчетная оценка уровня теплозащиты зданий на основе проектных данных.

⁴ См. первую часть статьи (справка 1).

⁵ См. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», п. 5.16.

⁶ См. СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», п. 5.1в.

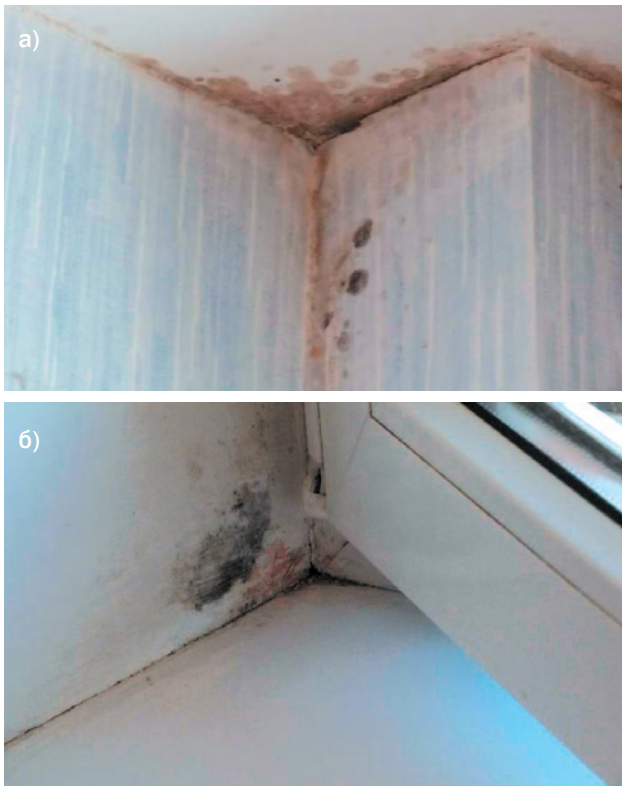


Рис. 3. Конденсация влаги и образование плесневых грибов на внутренней поверхности узла сопряжения а) колонны с междуэтажным перекрытием; б) оконного блока со стеновым проемом

В качестве примера подробно выполнена оценка теплового режима наружных стен.

Главной особенностью наружных стен из газобетонных блоков является наличие многочисленных краевых зон, выявленных на основе тепловизионного контроля (рис. 1). Неучет краевых зон при проектировании ограждающих

дающих конструкций может привести к значительным погрешностям в определении их теплозащитных характеристик.

Математическое моделирование теплового режима конструкции в холодный период года выполнено при следующих граничных условиях:

- расчетная температура внутреннего воздуха здания⁷ $t_{int} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- расчетная температура наружного воздуха⁸ $t_{ext} = -22 \text{ }^\circ\text{C}$;
- расчетный коэффициент теплообмена у внутренней поверхности ограждающей конструкции⁸ $\alpha_{si} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- расчетный коэффициент теплообмена у наружной поверхности конструкции⁸ $\alpha_{se} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

В расчете приняты во внимание следующие виды краевых зон:

- узел сопряжения наружных стен с междуэтажными перекрытиями;
- узел сопряжения оконных блоков со стеновыми проемами;
- угол наружных стен, выходящий из помещения;
- угол наружных стен, входящий в помещение;
- узел сопряжения колонны со стенами;
- узел сопряжения наружных стен с перекрытием над техподпольем;
- узел сопряжения наружных стен с чердачным перекрытием.

Ввиду незначительного влияния гибких связей на температурное поле наружных стен, согласно результатам тепловизионного контроля, гибкие связи не учитывались в теплотехническом расчете.

Таблица 3 Результаты расчета теплового режима наружных стен

Показатель	Значение показателя
Основной удельный тепловой поток Q_{bas} , Вт/К	442,00
Добавочный удельный тепловой поток через краевые зоны Q_{ad} , Вт/К, в том числе через:	132,00
– узлы сопряжения наружных стен с междуэтажными перекрытиями Q_1^{ad}	48,10
– узлы сопряжения оконных блоков со стеновыми проемами Q_2^{ad} :	35,60
– выходящих из помещений углов Q_3^{ad}	4,08
– входящих в помещения углов Q_4^{ad}	-3,95
– узлы сопряжения колонн со стенами Q_5^{ad}	2,51
– узлы сопряжения наружных стен с перекрытием над техподпольем Q_6^{ad}	21,00
– узлы сопряжения наружных стен с чердачным перекрытием Q_7^{ad}	24,20
Суммарный тепловой поток Q_{sum} , Вт/К	574,00

⁷ Согласно ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».

⁸ Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

Схема конструктивного решения стены по проекту представлена на рис. 4. В расчете использованы тепло-технические характеристики строительных материалов⁹. На основании результатов расчета теплового режима стеновых конструкций (табл. 3) определена структура удельных потерь теплоты через наружные стены:

- основные потери теплоты – 77 %;
- добавочные потери теплоты:
 - через узлы сопряжения наружных стен с междуэтажными перекрытиями – 8 %;
 - через узлы сопряжения оконных блоков со стеновыми проемами – 6 %;
 - через узлы сопряжения наружных стен с перекрытием над техподпольем – 4 %;
 - через узлы сопряжения наружных стен с чердачным перекрытием – 4 %;
- прочие – 1 %.

Анализ полученных результатов

Анализ результатов исследования показывает, что 23 % потерь теплоты происходит через краевые зоны. Большая часть теплотерь отмечается через узлы сопряжения наружных стен с междуэтажными перекрытиями, что обусловлено устройством перфорации в перекрытиях. Вместе с теплотерями через узлы сопряжения оконных блоков со стеновыми проемами они характеризуют большую часть добавочных теплотерь – 14 %. Меньшие потери теплоты через узлы сопряжения наружных стен с перекрытием над техподпольем и с чердачным перекрытием обусловлены меньшей протяженностью этих узлов.

Расчетное приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен R_0^{red} равно $1,88 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, что близко к минимально допустимому значению R_0^{min} ($1,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$). Приближение R_0^{red} к R_0^{min} создает теплотехнические риски в процессе проектирования ограждающей конструкции. Достаточно низкое значение коэффициента теплотехнической однородности наружных стен ($r = 0,774$) обусловлено значительным влиянием краевых зон.

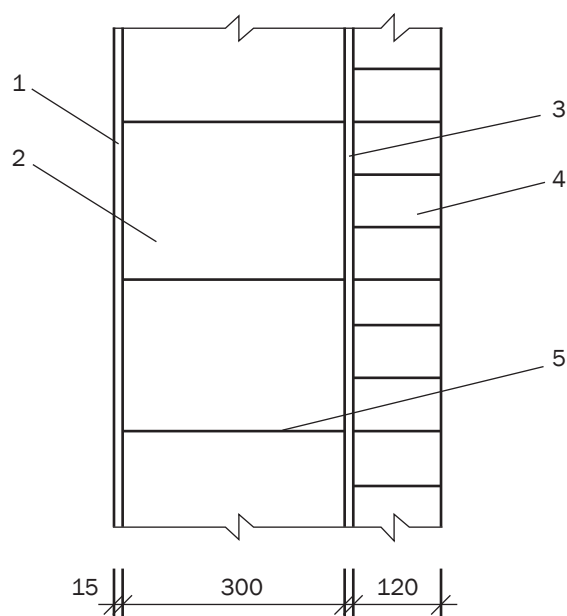
Результаты оценки теплозащиты оболочки зданий

Проектный уровень теплозащиты ограждающих конструкций отвечает действующим поэлементным требованиям¹⁰ (табл. 4).

Расчетная удельная теплозащитная характеристика зданий, полученная на основе проектных данных, равна $0,228 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$, что меньше нормируемого значения, равного $0,257 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$; следовательно, проектное решение зданий отвечает комплексному требованию¹⁰ по теплозащите.

Температура внутренней поверхности ограждающих конструкций в местах теплопроводных включений выше точки росы внутреннего воздуха при расчетной температуре наружного воздуха, следовательно, проектное решение ограждающих конструкций отвечает санитарно-гигиеническому требованию¹⁰.

Таким образом, на основании проведенных натурных теплофизических испытаний жилых зданий из газобетонных блоков и поверочных теплотехнических расчетов установлено, что фактический уровень теплозащиты зданий ниже проектного. Это обусловлено как многочисленными несанкционированными отступлениями от проекта, допущенными подрядчиком в ходе строительства, так и некачественным выполнением строительно-монтажных работ. Сам проект несет в себе определенные теплотехнические риски, связанные с учетом влияния краевых зон на теплозащитные свойства ограждающих конструкций.



- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1 – штукатурка | 4 – лицевая кирпичная кладка |
| 2 – газобетонный блок | 5 – клеевой шов |
| 3 – технологический зазор | |

Рис. 4. Сечение стены по «глади»

⁹ Согласно СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий». Приведены в полной версии статьи.

¹⁰ Согласно СП 50.13330.2012.

Таблица 4 Поэлементная оценка теплозащиты оболочки зданий на основе проектных данных

Ограждающая конструкция	Нормируемое сопротивление теплопередаче, м ² • К/Вт		Расчетное сопротивление теплопередаче, м ² • К/Вт
	Минимально допустимый уровень теплозащиты	Базовый уровень теплозащиты	
Наружные стены	1,75	2,77	1,88
Окна	0,42	0,44	0,50
Чердачное перекрытие	2,94	3,67	3,84
Перекрытие над техподпольем	2,94	3,67	3,08

Для обеспечения проектного уровня теплозащиты объекта необходимо устранить несоответствие проекту фактически выполненных работ. Особое внимание следует уделить совершенствованию конструктивного решения краевых зон [1]. Применение наружной дополнительной теплоизоляции по всей плоскости стены, как показывают предварительные расчеты, выравнивает температурное поле. При этом снижаются не только добавочные потери теплоты в краевых зонах, но и основные теплопотери стены. Следует заменить установленные в зданиях оконные блоки с однокамерными стеклопакетами на более энергоэффективные светопрозрачные ограждающие конструкции. Также необходимо повысить уровень теплозащиты перекрытия над техподпольем и чердачным перекрытием. Указанные мероприятия по повышению теплозащитных свойств зданий могут быть решены только в рамках разработки проекта реконструкции зданий.

Рекомендации

Проектирование двухслойных наружных стен в виде кладки автоклавных газобетонных блоков с наружной облицовкой кирпичной кладкой несет теплотехнические риски, связанные с увеличением неравноэффективности теплозащиты оболочки зданий, обусловленным существенным влиянием на теплозащиту зданий краевых зон. При этом значительно возрастает влияние двух- и трехмерных элементов в конструкции, неравномерность распределения температуры на ее внутренней поверхности, снижается теплотехническая однородность ограждающих конструкций. Для учета влияния краевых зон необходимы расчеты трехмерных температурных полей и разработка новых конструктивных решений.

Проектный уровень теплоизоляции указанных конструкций может быть ориентирован на минимально допустимые поэлементные требования по теплозащите¹¹ только при выполнении требований к удельной характеристике расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию здания и не соответствует базовому уровню теплозащиты для большинства регионов Российской Федерации. Для достижения резерва по тепловой защите и энергосбережению необходима дополнительная теплоизоляция для двухслойных наружных стен.

С целью снижения теплотехнических рисков при проектировании рассматриваемых зданий следует, прежде всего, совершенствовать конструктивное решение краевых зон оболочки. Другим мероприятием для повышения уровня теплозащиты зданий является применение дополнительной теплоизоляции по всей плоскости стены. Как показывают предварительные расчеты, при этом происходит выравнивание температурного поля, снижаются не только добавочные потери теплоты в краевых зонах, но и основные теплопотери стены.

Материалы статьи были доложены и получили положительный отзыв на X международном конгрессе «Энергоэффективность. XXI век. Инженерные методы снижения энергопотребления зданий», секция «Строительная теплофизика и энергоэффективное проектирование ограждающих конструкций».

Литература

1. Корниенко С. В. Комплексная оценка энергоэффективности и тепловой защиты зданий // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 11 (26).
2. Korniyenko S. Evaluation of thermal performance of residential building envelope. Procedia Engineering. 2015. No. 117. ■

¹¹ СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий», п. 5.2.