понимающий данную технологию. Группа таких системных неформальных специалистов в каждой отрасли должна определять политику эффективного энергообеспечения специфических теплотехнологий отрасли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л а д ы г и ч е в, М. Г. Огнеупоры для нагревательных и термических печей: справ. – 2-е изд., доп. / М. Г. Ладыгичев, В. Л. Гусовский, И. Д. Кащеев. – М.: Теплотехник, 2004. – 256 с.

2. К а щ е е в, И. Д. Свойства и применение огнеупоров: справ. / И. Д. Кащеев. – М.: Теплотехник, 2004. – 352 с.

3. П и в и н с к и й, Ю. Е. Неформованные огнеупоры: справ.: в 2 т. – Т. 1. Кн. 1: Общие вопросы технологии / Ю. Е. Пивинский. – 2-е изд. – М.: Теплотехник, 2004. – 448 с.

4. Н е ф о р м о в а н н ы е огнеупоры: справ.: в 2 т. – Т. 2 / под ред. И. Д. Кащеева. – 2-е изд. – М.: Теплотехник, 2004. – 400 с.

5. Х р у с т а л е в, Б. М. Техническая термодинамика: учеб.: в 2 ч. – Ч. 1 / Б. М. Хрусталев [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 487 с.

Представлена кафедрой
промышленной теплоэнергетики
и теплотехники

Поступила 10.01.2007

УДК 697.1

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЯ ТЕПЛОПЕРЕДАЧЕ СОВРЕМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НАРУЖНЫХ СТЕН ЗДАНИЙ

Канд. техн. наук, доц. НЕСТЕРОВ Л. В., КРУТИЛИН А. Б

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь с целью экономии энергетических ресурсов одной из основных проблем ставится задача повышения теплозащитных качеств наружных ограждающих конструкций зданий. В СНБ 2.0.4.01–97 «Строительная теплотехника» показателем теплозащиты ограждающих конструкций является приведенное сопротивление теплопередаче. Как правило, для повышения приведенного сопротивления теплопередаче при проектировании наружных стен зданий одним из решений является увеличение их толщины теплоизоляционного слоя. В то же время с увеличением сопротивления теплопередаче наружных стен возрастает сток теплоты через теплопроводные включения, откосы проемов, стыки с плитами перекрытий и покрытий и т. п. При этом резко снижается величина приведенного сопротивления теплопередаче по сравнению с сопротивлением теплопередаче, рассчитанным по «глади» конструкции.

Применяемые в настоящее время инженерные методы расчета приведенного сопротивления теплопередаче наружных стен представлены в [1–3]. С их помощью можно определить сопротивление теплопередаче конструкций с учетом их теплотехнической неоднородности. Так, В. Н. Бо-

гословский вводит понятие «фактор формы», которое помогает учитывать теплопроводные включения простой геометрической формы. В нормах [3] для учета влияния неоднородности конструкций стен приведены понижающие коэффициенты теплотехнической однородности, с их помощью рассчитывается сопротивление теплопередаче. К. Ф. Фокин [1] предложил формулу для учета добавочных потерь теплоты через откосы проемов увеличением коэффициента теплопередаче оконных блоков. Однако все авторы рассматривают наиболее простые случаи исполнения наружных ограждающих конструкций. В сложных случаях, для которых инженерные формулы неприменимы, они ссылаются на расчеты конструкций с помощью определения их температурных полей.

В общем случае диффузия теплоты в ограждающих конструкциях с переменными коэффициентами теплопроводности материалов слоев происходит в двух или трех направлениях и описывается дифференциальными уравнениями:

$$c\rho\frac{\partial t}{\partial \tau}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda(x,y,z)\frac{\partial t}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda(x,y,z)\frac{\partial t}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda(x,y,z)\frac{\partial t}{\partial z}\right)+q_{\text{вн}}; \quad (1)$$

$$c\rho\frac{\partial t}{\partial \tau}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda(x,y)\frac{\partial t}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda(x,y)\frac{\partial t}{\partial y}\right)+q_{\text{вн}}, \quad (2)$$

где c – теплоемкость единицы массы материала, кДж/(кг·°С); ρ – плотность материала, кг/м^3; λ – коэффициент его теплопроводности, Вт/(м·°С); $q_{\text{вн}}$ – плотность дополнительных тепловых источников (стоков), Вт/м^3.

Решение уравнений (1) и (2) методами конечных разностей достаточно полно рассмотрено [4–6]. Зарубежные же авторы предпочитают использовать метод конечных элементов [7, 8]. Решение уравнений предполагает написание программы на любом подходящем для современных ЭВМ языке программирования. В дальнейшем в программу вводятся геометрия конструкции, расчетные коэффициенты теплопроводности, теплоемкости и плотности материалов, задаются граничные условия и задача решается с помощью алгоритмов расчета систем уравнений дискретных аналогов зависимостей (1) или (2). Результатом расчета является температура в узлах (геометрических центрах) сетки, предварительно наложенной на расчетный фрагмент конструкции.

Для оценки влияния стыков и сопряжений наружных стен с перекрытиями, а также откосов проемов выполняется расчет трехмерного температурного поля необходимого участка наружной стены помещения с учетом стен выше- и нижележащих помещений до верха (низа) их проемов. Допускается рассчитывать отдельные неоднородные участки стен двухмерными и (или) трехмерными температурными полями при условии, что не будут заужены границы зон влияния теплопроводных включений. Затем определяется приведенное сопротивление теплопередаче расчетного участка наружного ограждения в целом.

В расчете теплопотерь через наружные стены используется величина сопротивления теплопередаче, определяющая тепловой поток через расчетный по площади участок стены. При этом теплопотери через откосы проемов и участки плит перекрытий (покрытий) в местах сопряжения с наружными стенами увеличивают тепловой поток через конструкцию стены вследствие добавочных площадей тепловосприятия. На участках наружных стен, примыкающих к откосам, температурное поле искривляется (рис. 1, 2), сток теплоты происходит как через откосы, так и через участки стен, к ним примыкающим. Вследствие этого тепловой поток на этих участках наружных стен меньше, чем на участках «глади» наружных стен. В отличие от методики [1] в этом случае предлагается дополнительные теплопотери учитывать следующим образом.

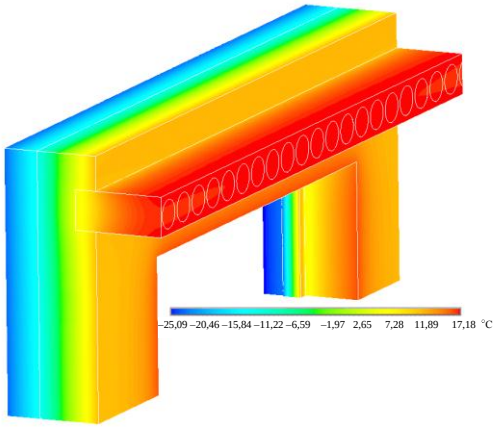

Рис. 1. Температурное поле фрагмента наружной кирпичной стены

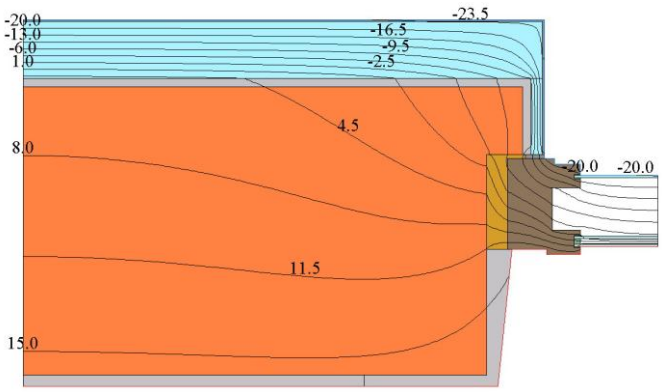

Рис. 2. Температурное поле и распределение плотности теплового потока через участок наружной стены с наружной теплоизоляцией (плиты пенополистирольные толщиной 100 мм, на откосах – 20 мм) у оконного проема

Определим сопротивление теплопередаче участка наружной стены, примыкающего к откосу, включая откос проема, по формулам:

$$R_{\text{ст+отк}} = \frac{l_{\text{ст}} + l_{\text{отк}}}{\frac{l_{\text{ст}}}{R_{\text{ст}}} + \frac{l_{\text{отк}}}{R_{\text{отк}}}}; \quad (3)$$

$$R_{\text{ст+отк}} = \frac{F_{\text{ст}} + F_{\text{отк}}}{\frac{F_{\text{ст}}}{R_{\text{ст}}} + \frac{F_{\text{отк}}}{R_{\text{отк}}}}, \quad (4)$$

где $R_{ст}$, $R_{отк}$ – сопротивления теплопередаче участка стены, примыкающего к откосу, и собственно по откосу оконного (балконного) проема соответственно, м^2·°С/Вт, они находятся по результатам расчета (1) или (2); l, F – длина и площадь зон влияния откосов, м и м^2, принимается по предварительным расчетам температурных полей конструкций.

Сопротивление теплопередаче участка наружной стены, примыкающего к оконному проему, с учетом добавочных теплопотерь через откосы проемов определяется по формулам:

$$R_{т} = R_{ст+отк} \frac{l_{ст}}{l_{ст} + l_{от}}; \tag{5}$$

$$R_{т} = R_{ст+отк} \frac{F_{ст}}{F_{ст} + F_{от}}. \tag{6}$$

Аналогичным образом рассчитываются сопротивления теплопередаче по зонам в местах стыков наружных стен с плитами перекрытий и покрытий.

Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{т}^{пр}$ расчетного участка наружных стен находится по формуле

$$R_{т}^{пр} = \frac{F_1 + F_2 + ... + F_i}{\frac{F_1}{R_1} + \frac{F_2}{R_2} + ... + \frac{F_i}{R_i}}, \tag{7}$$

где F_1, F_2, ..., F_i – площадь i-й зоны расчетного участка наружных стен, м^2; R_1, R_2, ..., R_i – сопротивление теплопередаче i-й зоны расчетного участка наружных стен, м^2·°С/Вт.

Коэффициент теплотехнической однородности наружных стен определяется по формуле

$$r = \frac{R_{т}^{пр}}{R_{т}^{гл}}, \tag{8}$$

где $R_{т}^{гл}$ – сопротивление теплопередаче наружной стены, рассчитанное по «глади», без учета влияния теплопроводных включений, м^2·°С/Вт.

С помощью описанной методики были рассчитаны коэффициенты теплотехнической однородности наружных стен зданий с различным уровнем теплозащиты (табл. 1).

Результаты показывают, что откосы оконных и балконных проемов значительно влияют на приведенное сопротивление теплопередаче наружных стен. При этом снижение теплозащитных качеств интенсифицируется при увеличении сопротивления теплопередаче наружных стен по «глади». Так, из-за невозможности обеспечить одинаковую толщину слоя теплоизоляции на «глади» стен и на откосах проемов, снижение сопротивления теплопередаче рассматриваемых неоднородностей может достигать 30 %,

а при установке оконных блоков и балконных дверей толщиной коробки менее 80 мм – до 50 % для стен из штучных материалов. Незначительное влияние откосов получено для здания 1956 г. постройки, с наружными кирпичными стенами и деревянными оконными блоками толщиной коробки $\delta = 280$ мм.

Таблица 1

Результаты расчетов коэффициентов теплотехнической однородности наружных стен зданий

Описание конструкций наружных стен и оконных заполнений	Сопротивление теплопередаче наружной стены по «глади» $R_т$, м^2·°С/Вт	Отношение площади проема к общей площади расчетного участка $F_{пр}/F_{общ}$, %	Коэффициент теплотехнической однородности* r
Наружная стена административного здания с кладкой из эффективного керамического кирпича (δ = 510 мм) с внутренней штукатуркой; оконные блоки из алюминиевого профиля (толщина коробки δ = = 78 мм) с однокамерным стеклопакетом	1,01	52	0,803
Наружная стена жилого дома с кладкой из полнотелого глиняного кирпича (δ = = 510 мм) с наружной и внутренней штукатуркой; оконные блоки в раздельных переплетах (толщина коробки δ = 280 мм) с двумя рядами остекления	0,83	32	0,966
Наружная стена жилого дома с кладкой из полнотелого глиняного кирпича (δ = = 510 мм) с наружной и внутренней штукатуркой и наружной теплоизоляцией легкой штукатурной системой (утеплитель – плиты пенополистирольные, σ = 100 мм, λ = = 0,042 Вт/(м·°С)) с утеплением откосов проемов снаружи толщиной слоя δ = 20 мм; оконные блоки в раздельных переплетах (толщина коробки δ = 160 мм) со стеклопакетом во внутренней створке и одинарным остеклением в наружной	3,34	32	0,722

* Учтено только влияние откосов проема.

Аналогичные результаты получены при оценке влияния стыков панелей стен крупнопанельных зданий. Максимальное снижение сопротивления теплопередаче наблюдается у панелей с сопротивлением теплопередаче «по глади» $R_т^{гл} \approx 3{,}6$ м^2·°С/Вт и выше (коэффициент теплотехнической однородности до $r = 0{,}50$).

В Ы В О Д

Обобщая изложенное выше, можно сделать следующие выводы. При проектировании наружных стен зданий следует учитывать влияние тепло-

проводных включений как самих стен, так и их стыков, сопряжений с плитами, откосов проемов. Используя приведенную методику расчета, можно отказаться от дополнительных надбавочных коэффициентов при расчете теплопотерь помещений, которые для современных конструкций наружных стен зданий не обеспечивают желаемой точности. При разработке конструкций наружных стен с повышенным уровнем теплозащиты необходимо детально рассматривать каждое теплопроводное включение, а также их сопряжения с плитами и оконными блоками, так как в ряде случаев увеличение толщины слоя теплоизоляции не приводит к ощутимому повышению сопротивления теплопередаче. При этом происходит значительный перерасход строительных материалов, что недопустимо.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фокин, К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей здания / К. Ф. Фокин. – М.: Стройиздат, 1973. – 287 с.

2. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика / В. Н. Богословский. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с.

3. Строительная теплотехника: СНиП II-3–79*. – М., 1998. – 50 с.

4. Самарский, А. А. Введение в теорию разностных схем / А. А. Самарский. – М., 1971. – 522 с.

5. Самарский, А. А. Устойчивость разностных схем / А. А. Самарский, А. В. Гулин. – М., 1973.

6. Берковский, Б. М. Разностные методы исследования задач теплообмена / Б. М. Берковский, Е. Ф. Ноготов. – Минск: Наука и техника, 1976. – 144 с.

7. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич, К. Морган; пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 318 с.

8. Сегерлинд, Л. Применение метода конечных элементов / Л. Сегерлинд; пер. с англ. – М.: Мир, 1979. – 392 с.

Представлена кафедрой
теплогазоснабжения и вентиляции

Поступила 4.04.2007

УДК 533.6:621.65.01

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЭРОДИНАМИКИ НЕДИАФРАГМИРОВАННОЙ ЦИКЛОННОЙ КАМЕРЫ

Канд. техн. наук, доц. ОРЕХОВ А. Н.,
засл. деятель науки и техники РФ, докт. техн. наук, проф. САБУРОВ Э. Н.

Архангельский государственный технический университет

Аэродинамика диафрагмированных циклонных камер, в том числе и большой относительной длины, исследована достаточно подробно [1, 2]. Значительно меньше исследований посвящено аэродинамике недиафрагмированных циклонных камер [3–5].

Рассматриваемые опыты выполнены на экспериментальном стенде, основным элементом которого являлась сборная циклонная камера, позво-