

# Учет неоднородности конструкций вентилируемых фасадов при определении приведенного сопротивления

Фаренюк Г. Г., Венжего Г. С.

Государственный научно-исследовательский институт  
строительных конструкций (НИИСК), г. Киев

---

*В статье сопоставлены методы теплового расчета термически неоднородных ограждающих конструкций и приведены новые более точные методы с использованием программного обеспечения на основе математического моделирования методом конечных разностей. Для конструкций систем фасадного утепления приведены результаты расчетов коэффициента теплотехнической однородности для разных вариантов выполнения конструктивного слоя и утеплителя при наличии крепежных элементов, таких как анкеры, ригелей, дюбелей. По результатам расчетов построены зависимости коэффициента теплотехнической однородности от количества дюбелей металлопластиковых, приходящихся на  $m^2$  конструкции, толщины утеплителя, теплопроводности материала утеплителя.*

Современные требования к теплоизоляционным свойствам стеновых ограждающих конструкций обуславливают переход от однослойного их исполнения к многослойному, что требует не только анализа тепловых характеристик таких конструкций, но и, прежде всего, определения понятий многослойности и термической однородности. В ранее действовавших нормах [1] эти термины не были четко определены, что и вызывало разночтение при проектировании ограждающих конструкций.

Многослойные ограждающие конструкции – это конструкции, состоящие по их сечению в направлении теплового потока из слоев материала, теплофизические характеристики которых отличаются один от другого не менее чем на 20%. При этом многослойность конструкций не означает априори, что конструкция является термически неоднородной [2].

В ДБН В.2.6-31:2006 [3] приведены определения термической неоднородности и термически неоднородной ограждающей конструкции. *Термическая неоднородность* характеризуется наличием зон на внутренней поверхности конструкции с температурами, отличными от температур основного поля более чем на 2 °С. *Термически неоднородная ограждающая конструкция* – ограждающая конструкция, имеющая в своем сечении объемные теплопроводные включения, которые приводят к термической неоднородности.

При проектировании термически неоднородных ограждающих конструкций необходимо проведение оценки таких показателей, как приведенное сопротивление теплопередаче, разность температур между температурой внутреннего воздуха и приведенной температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, минимальной температуры внутренней поверхности в зонах теплопроводных включений при расчетных значениях температур внутреннего и наружного воздуха. Эти показатели определяют экономические и санитарно-гигиенические параметры эксплуатации ограждающих конструкций, и от их значений зависит оценка эффективности рассматриваемого конструктивного ограждения.

Современные системы фасадного утепления относятся к классу стеновых конструкций, применение которых позволяет существенно повысить энергетическую эффективность зданий, как при новом строительстве, так и при реконструкции. Это обусловлено возможностью обеспечения и высоких теплоизоляционных свойств оболочки здания, и многообразия внешнего архитектурного вида. Одним из важных качеств систем фасадного утепления является то, что несущий слой конструкции работает на протяжении всего периода года при положительных температурах, за счет чего увеличивается срок службы и сохраняется прочность характеристик стен. Конструктивно системы состоят из несущего слоя (бетон, кирпич и т.п.), слоя утеплителя, облицовочного слоя, который крепится непосредственно на теплоизоляционном слое – сплошные (скрепленные) системы, или на некотором расстоянии от слоя утеплителя, образуя воздушный зазор - системы с вентилируемой воздушной прослойкой.

Наличие различных крепежных металлических элементов в конструкции систем фасадного утепления типа кронштейнов, дюбелей, направляющих и пр., обуславливает термическую неоднородность и вызывает определенные

трудности при определении оптимальной толщины утеплителя для достижения нормативного сопротивления теплопередачи наружных стен и оценке температурного режима их внутренней поверхности.

В ранее действовавших нормах [1] использовались инженерные методы расчета температуры внутренней поверхности ограждения с теплопроводными включениями, но только ограниченного вида по своим геометрическим параметрам и теплофизическим свойствам. В современных ограждающих конструкциях существует намного больше видов типов теплопроводных включений, что требует использования программных продуктов для расчета теплового состояния конструкций на основе математического моделирования методом конечных разностей. Для простых типов теплопроводных включений результаты расчетов по инженерным формулам [1] практически совпадают с расчетами методов математического моделирования (рисунок 1). Но если рассмотреть развитие этого условного включения на реальный и, естественно, более сложный конструктивный узел - кирпичная стена с железобетонной панелью перекрытия, формирующей тепловое поле в зоне теплопроводного включения в комплексе со стеной, то температурные характеристики этого узла уже значительно отличаются от упрощенной типовой модели (рисунок 2). Наличие пола на панели перекрытия перераспределяет тепловые потоки и снижает минимальную температуру внутренней поверхности зоны теплопроводного включения почти на 1<sup>0</sup>С. Таким образом, инженерные расчетные формулы [1] не позволяют получать адекватные температурные характеристики даже таких относительно простых и традиционных узлов ограждений, не говоря уже о современных сложных конструктивных системах [4,5]. Поэтому, метод программного моделирования температурных полей ограждающих конструкций заложен в ДБН В.2.6-31:2006 [3].

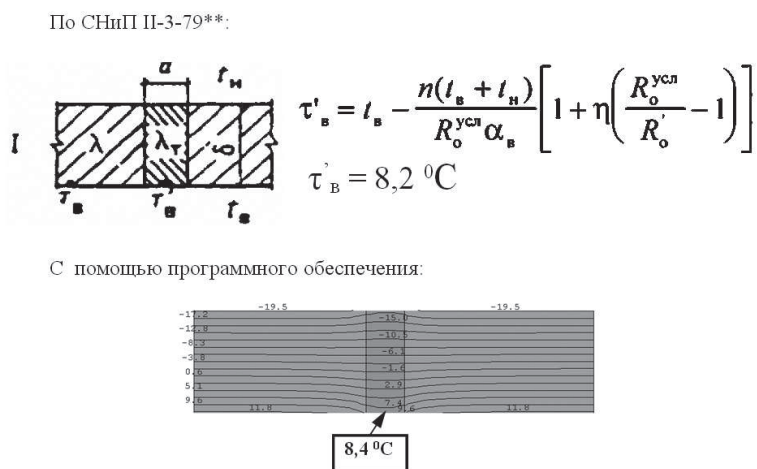


Рисунок 1. Сравнение расчетов нахождения температурных характеристик конструкций по методике СНиП II-3-79\*\* и с помощью программного обеспечения

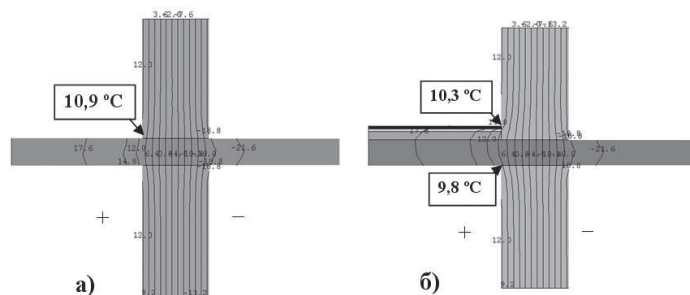


Рисунок 2. Расчет температурных полей кирпичной стены с панелью перекрытия: а) без пола; б) с полом

Температурные поля многослойных термически неоднородных конструкций систем фасадного утепления приведены на рисунке 2. Снижение температуры внутренней поверхности стеновых конструкций с типовыми узлами крепления утеплителя к основе находится в допустимом нормами пределе. Основная задача при теплотехнических расчетах конструкций с системами фасадного утепления заключается в определении приведенного сопротивления теплопередаче с учетом влияния теплопроводных включений. В расчетах приведенного сопротивления теплопередаче для подобных конструкций используют коэффициент теплотехнической однородности  $r$ , определяя его на основе расчета температурных полей [1] или экспериментально на основе методики [6].

Коэффициент теплотехнической однородности  $r$  определяется как отношение приведенного сопротивления теплопередаче конструкции с теплопроводными включениями к сопротивлению теплопередаче однородной конструкции  $r = R^{пр} / R_0$ . В работах российских исследователей [7, 8] начинают появляться данные и методы определения коэффициентов теплотехнической однородности конструкций систем фасадного утепления с вентилируемыми воздушными прослойками. Однако эти данные пока не носят системного характера, поэтому не были приведены значения коэффициентов теплотехнической однородности систем [2], которые можно предоставить для проведения проектных расчетов с достаточной их обоснованностью. Для решения этой задачи приведем некоторые полученные результаты расчетов коэффициентов теплотехнической однородности конструкций систем фасадного утепления, пользуясь методикой основанной на математическом моделировании температурных полей.

На рисунке 3 приведен вид исследуемой модели. Рассматриваемая модель состоит из несущего слоя (варианты: кирпичная кладка с коэффициентом теплопроводности  $0,81 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ , плотностью  $1800 \text{ кг/м}^3$ ; железобетон с коэффициентом теплопроводности  $2,04 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ , плотностью  $2500 \text{ кг/м}^3$ ; ячеистый бетон с коэффициентом теплопроводности  $0,37 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ , плотностью  $800 \text{ кг/м}^3$ ), слоя утеплителя, теплопроводных включений (дюбель металлопластиковый, кронштейн и анкер из оцинкованной стали с коэффициентом теплопроводности  $58,0 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$ ). Между кронштейном и несущей стеной установлена прокладка, которая уменьшает влияние потерь тепла через кронштейн и увеличивает коэффициент теплотехнической однородности  $r$ .

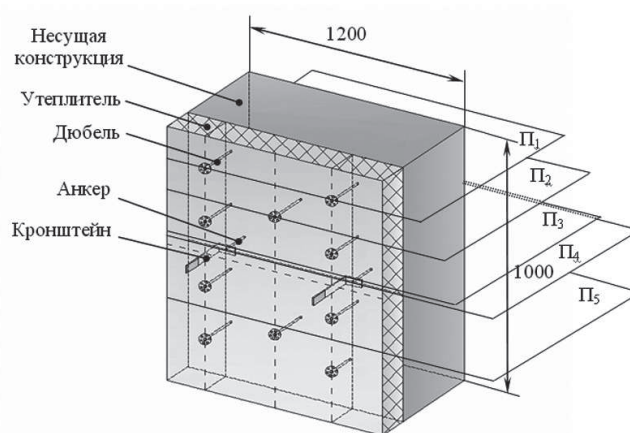


Рисунок 3. Вид исследуемой модели

Граничные условия принимались для Киева: температура наружного воздуха  $-22 \text{ °C}$  и коэффициент теплоотдачи  $23 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ ; температура внутреннего воздуха  $+18 \text{ °C}$  и коэффициент теплоотдачи  $8,7 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ .

В результате расчета температурных полей находим приведенное сопротивление теплопередачи конструкции по формуле:

$$R^{пр} = (F_1 + \dots + F_n) / (F_1/R_1 + \dots + F_n/R_n).$$

Модель условно разбивается плоскостями, параллельными направлению движения теплового потока на термически однородные участки и на основании результатов расчетов двумерного температурного поля определяется сопротивление теплопередаче. Температурные поля полученных сечений: с одним металлопластиковым дюбелем; с двумя металлопластиковыми дюбелями; с анкером и кронштейном; с кронштейном, приведены на рисунке 4. Результаты расчетов коэффициента теплотехнической однородности для разных вариантов конструктивного слоя и утеплителя сведены в таблицу 1.

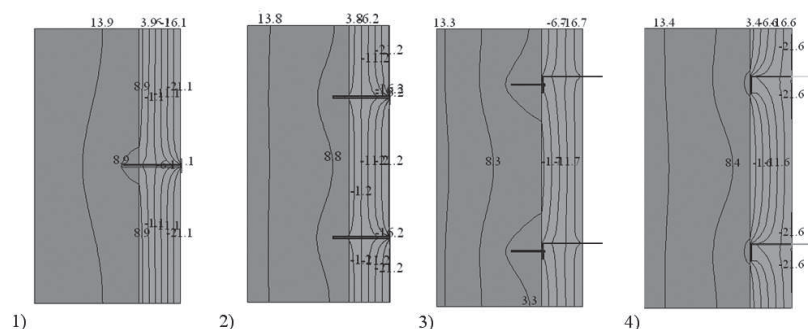


Рисунок 4. Температурные поля стены в сечении:

- 1) с одним металлопластиковым дюбелем;
- 2) с двумя металлопластиковыми дюбелями;
- 3) с анкером и кронштейном;
- 4) с кронштейном

Таблица 1. Значения коэффициента теплотехнической однородности ( $r$ ) кирпичных стен ( $\lambda=0,81$  Вт/м $\cdot$ °С); железобетонных ( $\lambda=2,04$  Вт/м $\cdot$ °С); из ячеистого бетона ( $\lambda=0,37$  Вт/м $\cdot$ °С) утепленных минераловатным утеплителем ( $\lambda=0,04\div 0,08$  Вт/м $\cdot$ °С)

| Толщина, м               |            | Коэффициент $r$ при $\lambda$ утеплителя, Вт/м $\cdot$ °С |      |      |
|--------------------------|------------|---|------|------|
| стены<br>(без утепления) | утеплитель | 0,04  | 0,05 | 0,08 |
| 0,38<br>(кирпич)         | 0,1        | 0,9   | 0,91 | 0,95 |
|                          | 0,15       | 0,9   | 0,92 | 0,95 |
|                          | 0,2        | 0,91  | 0,93 | 0,96 |
| 0,51<br>(кирпич)         | 0,1        | 0,86  | 0,88 | 0,93 |
|                          | 0,15       | 0,87  | 0,89 | 0,93 |
|                          | 0,2        | 0,88  | 0,9  | 0,94 |
| 0,64<br>(кирпич)         | 0,1        | 0,83  | 0,86 | 0,91 |
|                          | 0,15       | 0,84  | 0,87 | 0,92 |
|                          | 0,2        | 0,85  | 0,87 | 0,92 |
| 0,38<br>(железобетон)    | 0,15       | 0,86  | 0,88 | 0,92 |
| 0,38<br>(ячеистый бетон) | 0,15       | 0,89  | 0,91 | 0,94 |

Изменение количества дюбелей на м<sup>2</sup> конструкции, как показано на рисунке 5 (распределение получено для стены кирпичной ( $\lambda=0,81$  Вт/м $\cdot$ К) толщиной 250 мм с утеплителем ( $\lambda=0,04$  Вт/м $\cdot$ К) и дюбелями металлопластиковыми без пластиковой заглушки) носит не прямопропорциональный характер.



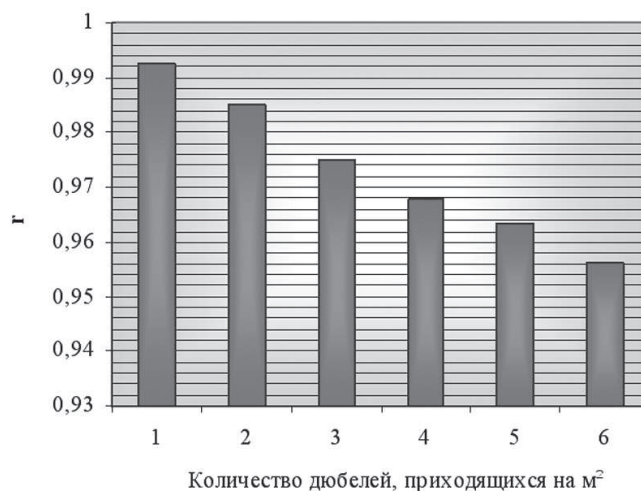


Рисунок 5. Зависимость коэффициента теплотехнической однородности от количества дюбелей металлопластиковых, приходящихся на м<sup>2</sup> конструкции

По данным результатам расчетов таблицы 1, определен характер изменения коэффициента теплотехнической однородности от толщины утеплителя (рисунок 6) и от коэффициента теплопроводности материала утеплителя (рисунок 7). Как видно, при увеличении толщины утеплителя, коэффициент теплотехнической однородности  $r$  уменьшается, то есть рост приведенного сопротивления теплопередачи конструкции с увеличением толщины теплоизоляционного слоя носит не прямолинейный характер, как для однослойных термически однородных конструкций.

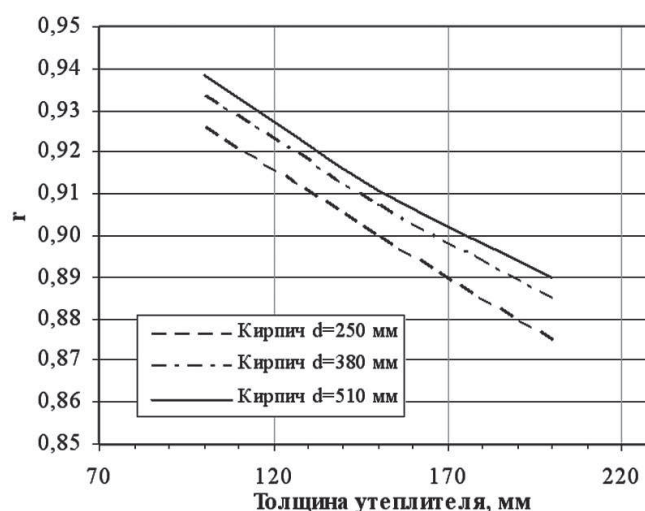


Рисунок 6. Зависимость коэффициента теплотехнической однородности от толщины утеплителя (при теплопроводности материала утеплителя 0,05 Вт/м·К)

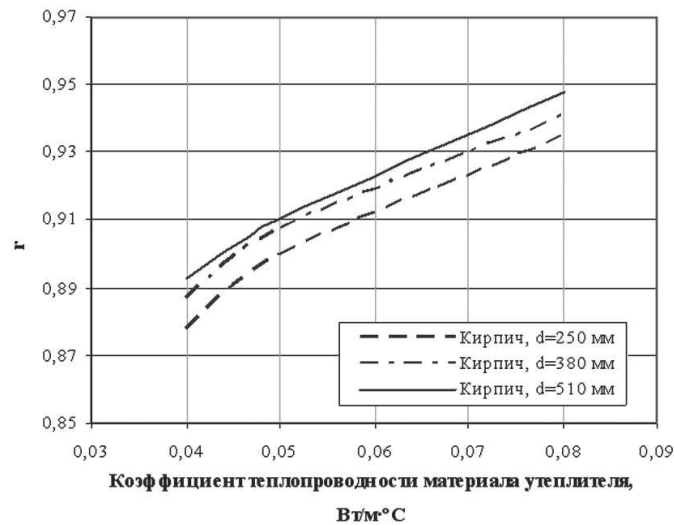


Рисунок 7. Зависимость коэффициента теплотехнической однородности от теплопроводности материала утеплителя (при толщине утеплителя 150 мм)

Одним из путей повышения теплотехнических показателей ограждающих конструкций является снижение их термической неоднородности [2]. Из полученных данных (рисунок 7) видно, что увеличение теплопроводности материала утеплителя ведет к увеличению коэффициента теплотехнической однородности, однако при этом снижается приведенное сопротивление теплопередаче конструкции. Это показывает на необходимость системной проработки вопросов, предоставления необходимых при проектировании стеновых ограждающих конструкций с фасадным утеплением данных по упрощению расчетов теплотехнических показателей.

### Заключение

Оценка теплового состояния современных ограждающих конструкций, в том числе систем фасадного утепления, должна проводиться на основании анализа влияния термически неоднородных участков с использованием методов математического моделирования температурных полей. Применение инженерных расчетных формул не позволяет получить реальных характеристик многослойных систем с термической неоднородностью.

На коэффициент теплотехнической однородности, с использованием которого могут осуществляться расчеты приведенного сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций, влияют геометрические характеристики теплопроводных включений, их количество, теплопроводность материала утеплителя, толщина утеплителя. В результате расчетов уста-



новлена непрямолінійна залежність коефіцієнта теплотехнічної однорідності від кількості елементів кріплення, наприклад, дюбелів. Збільшення теплопровідності матеріала утеплителя приводить до росту коефіцієнта теплотехнічної однорідності, т.к. зменшується різниця теплопровідності утеплителя і теплопровідних включень.

---

**Перечень ссылок**

---

1. **СНиП II -3-79\*\*** Строительная теплотехника
2. **Фаренюк Г. Г.** Наружные стены современных зданий и их конструктивные особенности // АСЖ «Особняк». – 2000. – №3.
3. **ДБН В.2.6-31:2006** Теплова ізоляція будівель
4. **Фаренюк Г. Г., Фаренюк Е. Г.** Теплотехнические характеристики фасадных комбинированных систем// Оконные технологии. – 2001. – №6.
5. **Фаренюк Г. Г., Фаренюк Е. Г.** Температурный режим алюминиевых сточно-ригельных узлов фасадных систем // Оконные технологии. – 2002. – №12.
6. **ГОСТ 26254-84** Здания и сооружения. Методы определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций
7. **Гагарин В. Г., Козлов В. В., Цыкановский Е. Ю.** Теплозащита фасадов вентилируемым воздушным зазором // АВОК. – 2004. – № № 2, 3.
8. **Подласова И. А., Чернета В. Ю., Копаница Н. О., Солodников Е. В.** Сопротивление теплопередаче стен с навесными теплоизоляционными фасадами // АВОК. – 2005. – № 3.

Получено 02.04.07