

Казанский государственный архитектурно-
строительный университет (КГАСУ)
г. Казань

ООО "Тор"
г. Санкт-Петербург



Расчет температурных полей в ELCUT при проектировании тепловой защиты зданий. Часть 2

18 ноября 2015 года



Расчет температурных полей в ELCUT при проектировании тепловой защиты зданий.

Часть 1

http://elcut.ru/seminar/seminar_kraynov1.htm



Крайнов Дмитрий Владимирович

к.т.н., старший преподаватель

кафедра “Теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции”
Казанский государственный архитектурно-строительный
университет (Россия, г. Казань)

Научные направления и интересы:

- строительная теплофизика
- тепловая защита зданий
- энергосбережение в зданиях
- анализ энергопотребления зданиями
- информационное моделирование зданий (BIM)

Стаж работы в области: 10 лет.

- 1. Основные понятия**
- 2. Теплотехнические неоднородности**
- 3. Основные виды ограждающих конструкций современных зданий**
- 4. Элементный подход к расчету приведенного сопротивления теплопередаче**
- 5. Нормативные требования тепловой защиты зданий**
- 6. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждения**
- 7. Пример расчета. Проверка поэлементного требования**
- 8. Результаты и выводы**

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции: физическая величина, характеризующая усредненную по площади плотность потока теплоты через фрагмент теплозащитной оболочки здания в стационарных условиях теплопередачи, численно равная отношению разности температур воздуха по разные стороны фрагмента к усредненной по площади плотности потока теплоты через данный фрагмент конструкции.

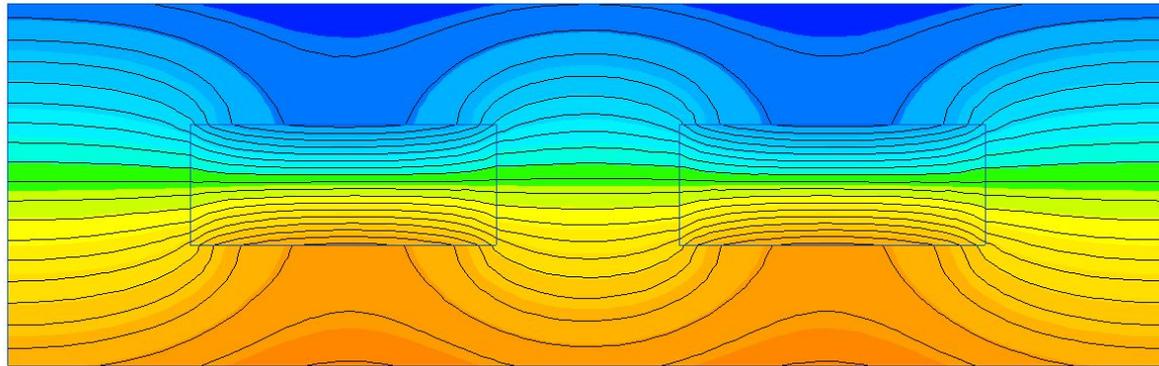
$$R_o^{np} = \frac{(t_v - t_n)}{\int_A q dA / A} \quad \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Bm} \right]$$

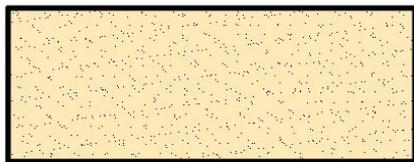
Условное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции: физическая величина, численно равная приведенному сопротивлению теплопередаче условной ограждающей конструкции, в которой отсутствуют теплотехнические неоднородности.

$$R_o^{усл} = \frac{1}{\alpha_v} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_n} \quad \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт} \right]$$

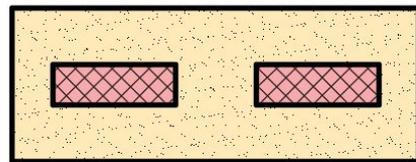
Условное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции характеризует **однородную ограждающую конструкцию (гладь конструкции)**.

Теплотехническая неоднородность (теплотехнически неоднородный фрагмент ограждающей конструкции): фрагмент ограждающей конструкции, в котором линии равной температуры располагаются не параллельно друг другу.

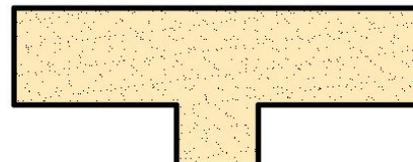




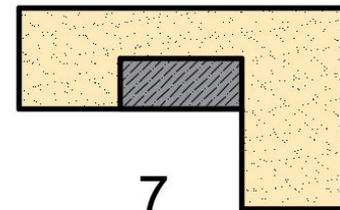
1



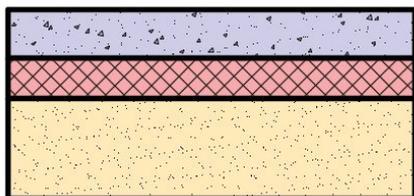
3



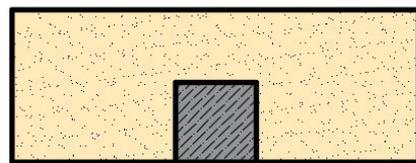
5



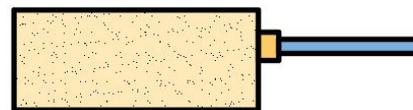
7



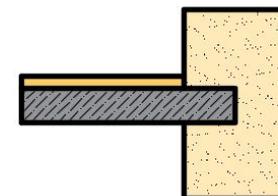
2



4



6



8

**Однородные
ограждающие
конструкции:**

- 1 – однослойная
- 2 – многослойная

Теплотехнические неоднородности:

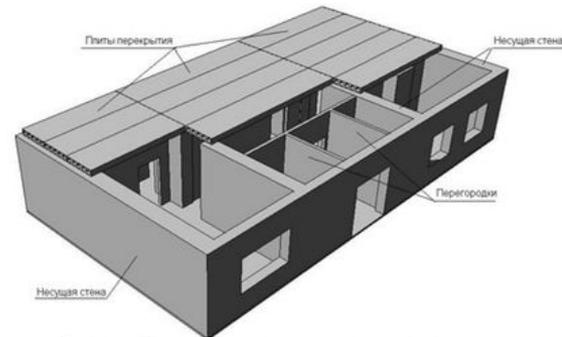
- 3-4 – тип 1: теплопроводное включение
- 5-6 – тип 2: геометрическая неоднородность
- 7-8 – тип 3: смешанные неоднородности

**Практически все ограждающие конструкции
современных зданий являются
теплотехнически неоднородными**

Основные виды ограждающих конструкций современных зданий



1. Трехслойные панели с утеплителем на гибких связях



2. Несущие и ненесущие стеновые конструкции

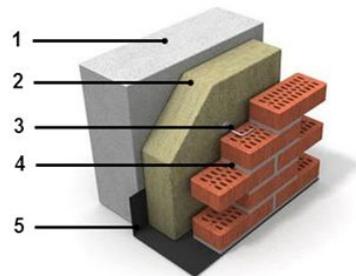


3. Металлические панели с эффективным утеплителем (сендвич панели)



4. Фасадное остекление

2. Несущие и ненесущие стеновые конструкции



1 – основной слой стены, 2 – утеплитель,
3 – крепежный элемент, 4 – защитно-
декоративная кладка, 5 – гидроизоляция



Стеновые конструкции с
облицовкой из кирпичной
кладки



Фасадные системы с тонким
штукатурным слоем
(«мокрый фасад»)



Навесные фасадные системы
(НФС) с вентилируемой
воздушной прослойкой
(«вентилируемый фасад»)

Примеры наружных ограждений современных зданий



Примеры наружных ограждений современных зданий



Примеры наружных ограждений современных зданий



Примеры наружных ограждений современных зданий



Примеры наружных ограждений современных зданий



Расчет основан на представлении фрагмента теплозащитной оболочки здания в виде набора независимых элементов, каждый из которых влияет на тепловые потери через фрагмент

Классификация элементов:

- **Плоский элемент:** гладь ограждающей конструкции
- **Линейная неоднородность:** оконные откосы, стыки наружных стен с перекрытием, колонны в стенах, ригели, углы и т.д.
- **Точечная неоднородность:** дюбели, кронштейны и т.д.

Элементный подход к расчету приведенного сопротивления теплопередаче

- Элементы могут находиться **на различном расстоянии** друг от друга
- При любом взаимном расположении они рассматриваются как **независимые составляющие**
- Каждый элемент **оказывает определенное влияние**, возможно и незначительное, на поток теплоты через конструкцию
- **Сумма потоков теплоты**, обусловленная совокупностью всех элементов, равна полному потоку теплоты через фрагмент ограждающей конструкции

1. Основные понятия
2. Теплотехнические неоднородности
3. Основные виды ограждающих конструкций современных зданий
4. Элементный подход к расчету приведенного сопротивления теплопередаче
- 5. Нормативные требования тепловой защиты зданий**
6. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждения
7. Пример расчета. Проверка поэлементного требования
8. Результаты и выводы



СП 50.13330.2012 “Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003”

А. Поэлементные требования (стены, окна, двери, перекрытия...)

$$R_o^{np} \geq R_o^{норм} \quad \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт} \right]$$

Б. Комплексное требование (теплозащитная оболочка здания)

$$k_{об} \leq k_{об}^{mp} \quad \left[\frac{Вт}{m^3 \cdot ^\circ C} \right]$$

В. Санитарно-гигиеническое требование (отсутствие конденсата на внутренней поверхности)

$$t_{вн} \geq t_{мин} = t_{mp} + (2 \div 3) \quad [^\circ C]$$

Необходимо одновременное выполнение требований А, Б и В.

1. Основные понятия
2. Теплотехнические неоднородности
3. Основные виды ограждающих конструкций современных зданий
4. Элементный подход к расчету приведенного сопротивления теплопередаче
5. Нормативные требования тепловой защиты зданий
- 6. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждения**
7. Пример расчета. Проверка поэлементного требования
8. Результаты и выводы

Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции

1. Выбирают типовую разбивку на элементы (плоские, линейные и точечные)
2. Для каждого элемента находят удельный геометрический показатель
3. Выполняют расчет температурных полей рассматриваемых элементов
4. Для каждого элемента находят удельные потери теплоты
5. Составляют сводную таблицу
6. Рассчитывают приведенное сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции по формуле:

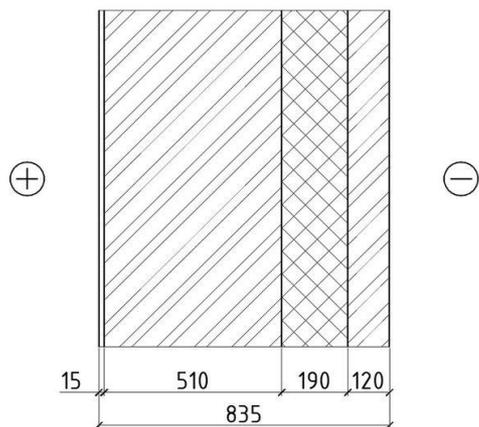
$$R_o^{np} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} \left[\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт} \right]$$

a_i, l_j, n_k удельные геометрические показатели

U_i, Ψ_j, χ_k удельные потери теплоты

1. Основные понятия
2. Теплотехнические неоднородности
3. Основные виды ограждающих конструкций современных зданий
4. Элементный подход к расчету приведенного сопротивления теплопередаче
5. Нормативные требования тепловой защиты зданий
6. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждения
- 7. Пример расчета. Проверка поэлементного требования**
8. Результаты и выводы

Пример расчета



$$R_o^{уст} = 5,53 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$$

$$R_o^{норм} = R_o^{тр} \cdot 1 = 3,32 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$$

$$R_o^{норм} = R_o^{тр} \cdot 0,63 = 2,02 \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$$

Фрагментом являются все наружные стены без светопроемов.

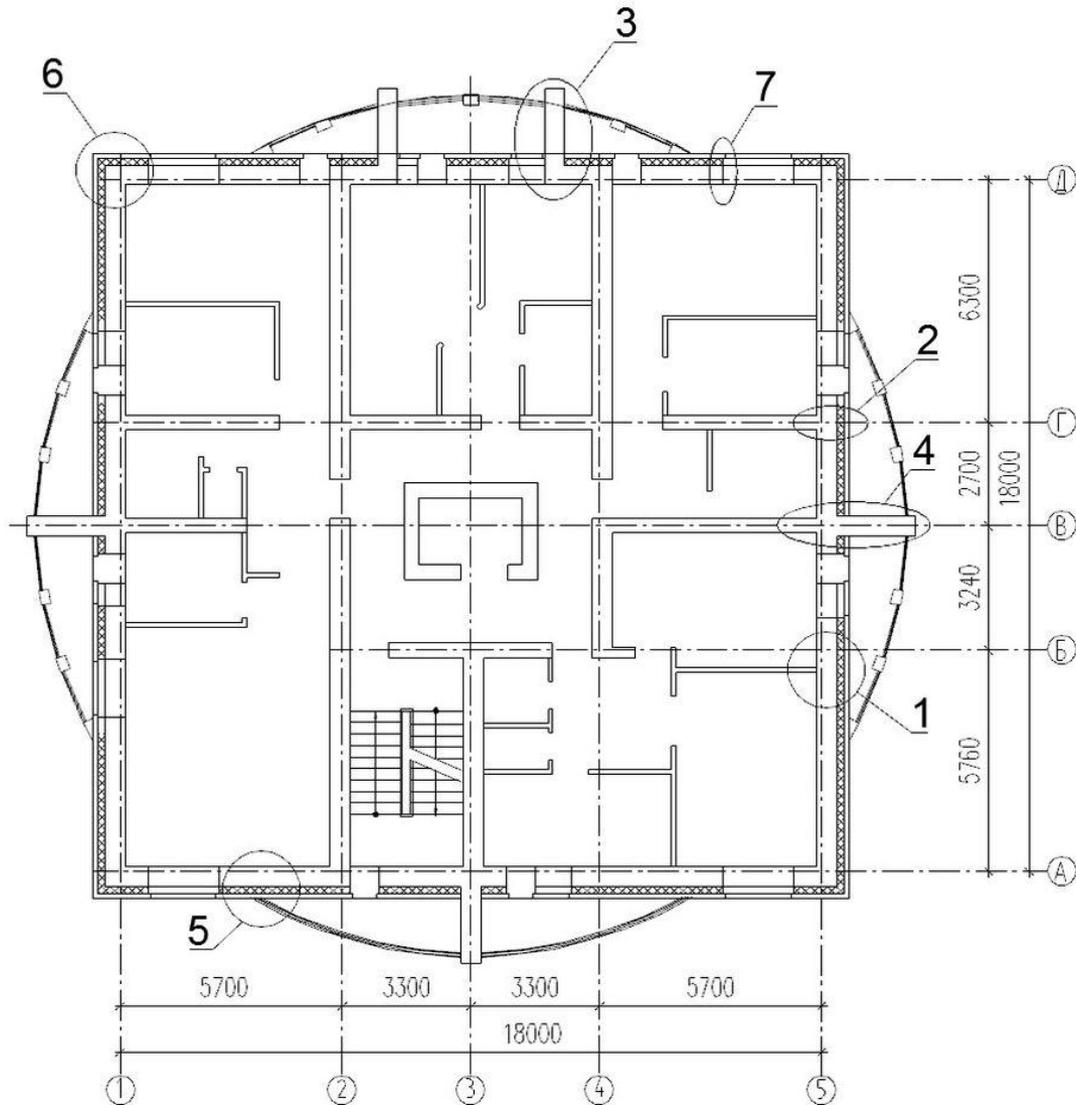
Общая площадь фасада – 2468 м²

Площадь светопроемов и дверей – 334 м²

Площадь наружных стен – 2134 м²

Материал	Плотность, кг/м ³	Расчетный коэффициент теплопроводности, Вт/м·°C
Штукатурка	1800	0,93
Кладка из силикатного кирпича	1800	0,87
URSA GLASSWOOL П-20	20	0,041
Облицовочный кирпич	1800	0,87
Монтажная пена (пенополиуретан)	80	0,05
Дерево (сосна поперек волокон)	500	0,18
Стеклопакет	-	0,068
Сталь	7850	58
Железобетон	2500	2,04
Бетон	2400	1,86
Растворный шов с сеткой С14	-	4,468
Растворный шов с сеткой С15	-	3,1

1. Разбивка ограждающей конструкции на элементы



1. Разбивка ограждающей конструкции на элементы

#	Элемент	Описание
1	Линейный элемент 1	Примыкание внутренней перегородки
2	Линейный элемент 2	Примыкание внутренней несущей стены
3	Линейный элемент 3	Примыкание наружной перегородки балкона
4	Линейный элемент 4	Примыкание внутренней несущей стены и наружной перегородки балкона
5	Линейный элемент 5	Примыкание балконного ограждения
6	Линейный элемент 6	Наружный угол
7	Линейный элемент 7	Оконный откос (боковые стороны)
8	Линейный элемент 8	Оконный откос (низ окна)
9	Линейный элемент 9	Оконный откос (верх окна)
10	Линейный элемент 10	Опираение межэтажного перекрытия на наружное ограждение (глухая стена)
11	Линейный элемент 11	Опираение межэтажного перекрытия и балконной плиты на наружное ограждение
12	Линейный элемент 12	Армированный растворный шов
13	Точечный элемент 1	Армирующий анкер А1
14	Плоский элемент 1	Кирпичная кладка, утепленная слоем минеральной ваты, облицованная кирпичом

2. Удельный геометрический показатель

#	Элемент	Удельный геометрический показатель
1	Линейный элемент 1	0,068 м/м ²
2	Линейный элемент 2	0,068 м/м ²
3	Линейный элемент 3	0,023 м/м ²
4	Линейный элемент 4	0,034 м/м ²
5	Линейный элемент 5	0,04 м/м ²
6	Линейный элемент 6	0,06 м/м ²
7	Линейный элемент 7	0,222 м/м ²
8	Линейный элемент 8	0,061 м/м ²
9	Линейный элемент 9	0,089 м/м ²
10	Линейный элемент 10	0,109 м/м ²
11	Линейный элемент 11	0,191 м/м ²
12	Линейный элемент 12	1,142 м/м ²
13	Точечный элемент 1	1,326 1/м ²
14	Плоский элемент 1	1 м ² /м ²

Линейный элемент 10

Опираение межэтажного перекрытия на наружное ограждение (глухая стена)

Общая протяженность элемента:

$$L_{10} = 232,56 \text{ м}$$

Площадь наружных стен:

$$A_{\text{ст}} = 2134 \text{ м}^2$$

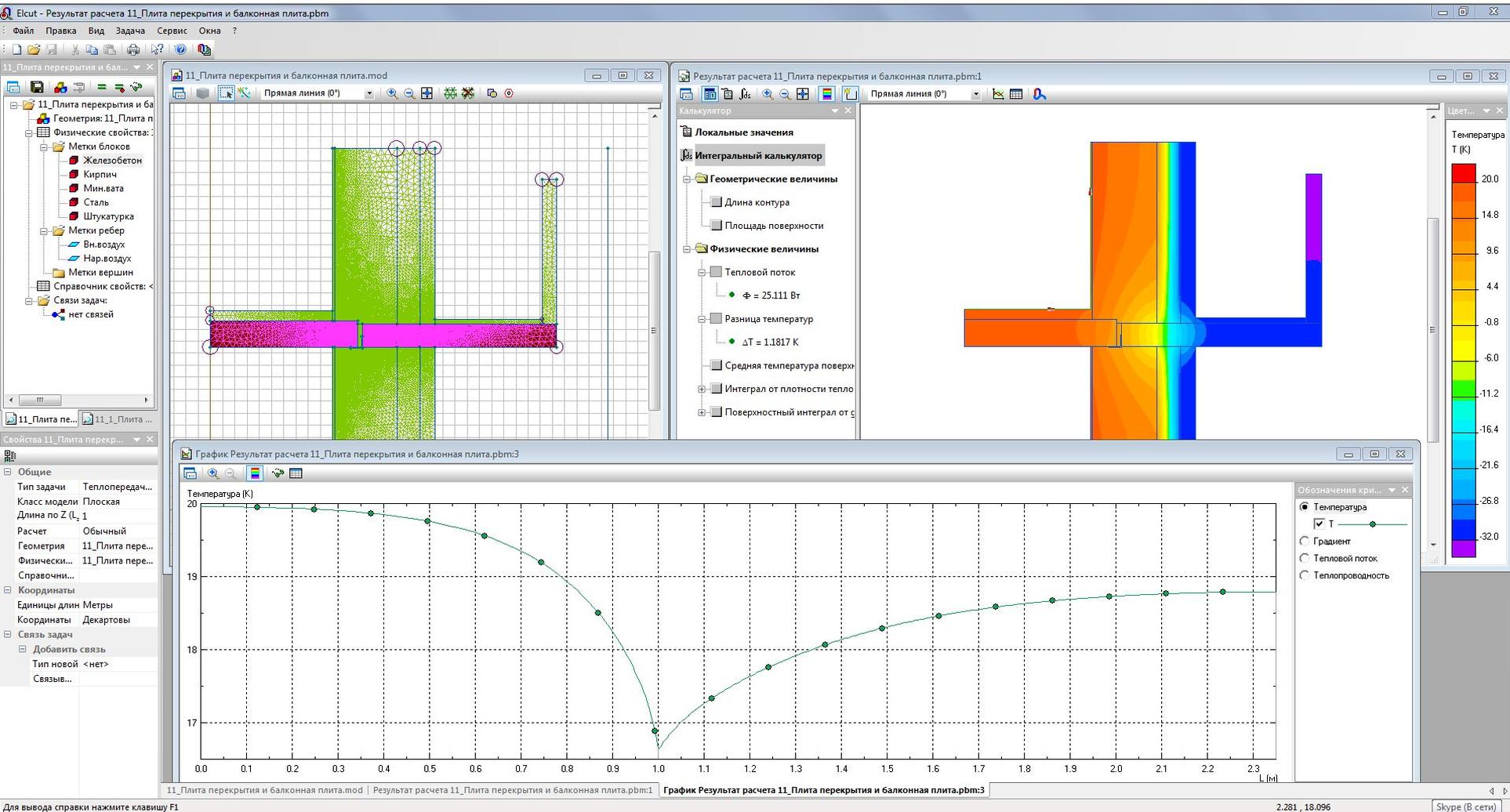
Удельный геометрический показатель:

$$I_{10} = 232,56 / 2134 = 0,109 \text{ м/м}^2$$

3. Расчет температурных полей в ELCUT

1. Создание геометрии
2. Создание и назначение
 - 2.1. материалов
 - 2.2. граничных условий
 - 2.3. сетки конечных элементов
3. Расчет задачи и анализ результатов
4. Экспорт результатов расчета

3. Расчет температурных полей в ELCUT



4. Удельные потери теплоты, обусловленные элементами

Линейный элемент 11

Опираение межэтажного перекрытия и балконной плиты на наружное ограждение

Потери теплоты через расчетную область:

$$Q_{11} = 25,111 + 29,282 = 54,393 \text{ Вт/м}$$

Потери теплоты через участок однородной конструкции тех же размеров:

$$Q_{\text{усл } 11} = (20 - (-32)) \cdot 3 / 5,53 = 28,2 \text{ Вт/м}$$

Дополнительные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность:

$$\Delta Q_{11} = 54,393 - 28,2 = 26,193 \text{ Вт/м}$$

Удельные потери теплоты через линейную теплотехническую неоднородность:

$$\Psi_{11} = 26,193 / (20 - (-32)) = 0,504 \text{ Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$$

#	Элемент	Удельный геометрический показатель	Удельные потери теплоты	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м ² ·°C)	Доля общего потока теплоты, %
1	Линейный элемент 1	0,068 м/м ²	0,0006 Вт/м·°C	0,00004	0,01
2	Линейный элемент 2	0,068 м/м ²	-0,001 Вт/м·°C	-0,00007	-0,02
3	Линейный элемент 3	0,023 м/м ²	0,474 Вт/м·°C	0,011	3
4	Линейный элемент 4	0,034 м/м ²	0,465 Вт/м·°C	0,016	4,37
5	Линейный элемент 5	0,04 м/м ²	-0,0002 Вт/м·°C	-0,00001	0,00
6	Линейный элемент 6	0,06 м/м ²	0,167 Вт/м·°C	0,010	2,73
7	Линейный элемент 7	0,222 м/м ²	0,064 Вт/м·°C	0,014	3,82
8	Линейный элемент 8	0,061 м/м ²	0,159 Вт/м·°C	0,01	2,73
9	Линейный элемент 9	0,089 м/м ²	0,073 Вт/м·°C	0,007	1,91
10	Линейный элемент 10	0,109 м/м ²	0,004 Вт/м·°C	0,0005	0,14
11	Линейный элемент 11	0,191 м/м ²	0,504 Вт/м·°C	0,096	26,2
12	Линейный элемент 12	1,142 м/м ²	0,002 Вт/м·°C	0,002	0,55
13	Точечный элемент 1	1,326 1/м ²	0,015 Вт/°C	0,019	5,18
14	Плоский элемент 1	1 м ² /м ²	0,181 Вт/м ² ·°C	0,181	49,4
				1 / R^{np} = 0,366	100

6. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче стены

Приведенное сопротивление теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции:

$$R_o^{np} = \frac{1}{\sum a_i U_i + \sum l_j \Psi_j + \sum n_k \chi_k} = \frac{1}{0,166 + 0,019 + 0,181} = 2,73 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$$

Коэффициент теплотехнической однородности фрагмента ограждающей конструкции:

$$r = \frac{R_o^{np}}{R_o^{усл}} = \frac{2,73}{5,53} = 0,49$$

Проверка поэлементного требования:

$$R_o^{np} \geq R_o^{норм}$$

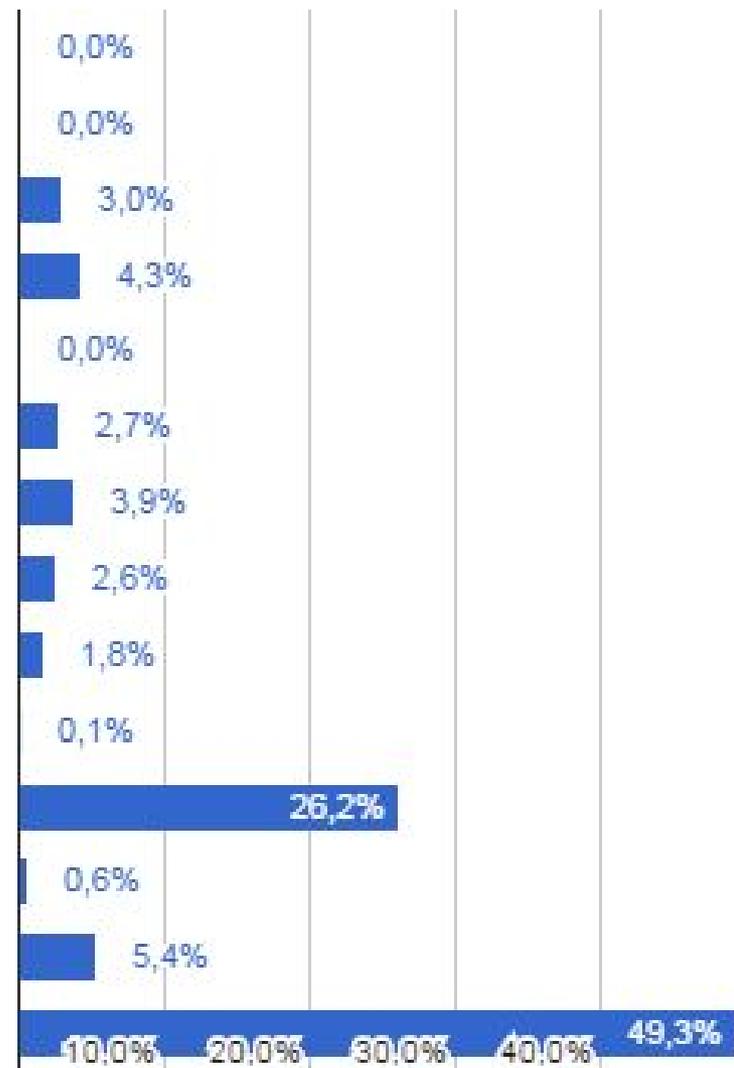
$$R_o^{норм, 1} = 3,32 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$$

$$R_o^{норм, 0.63} = 2,02 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$$

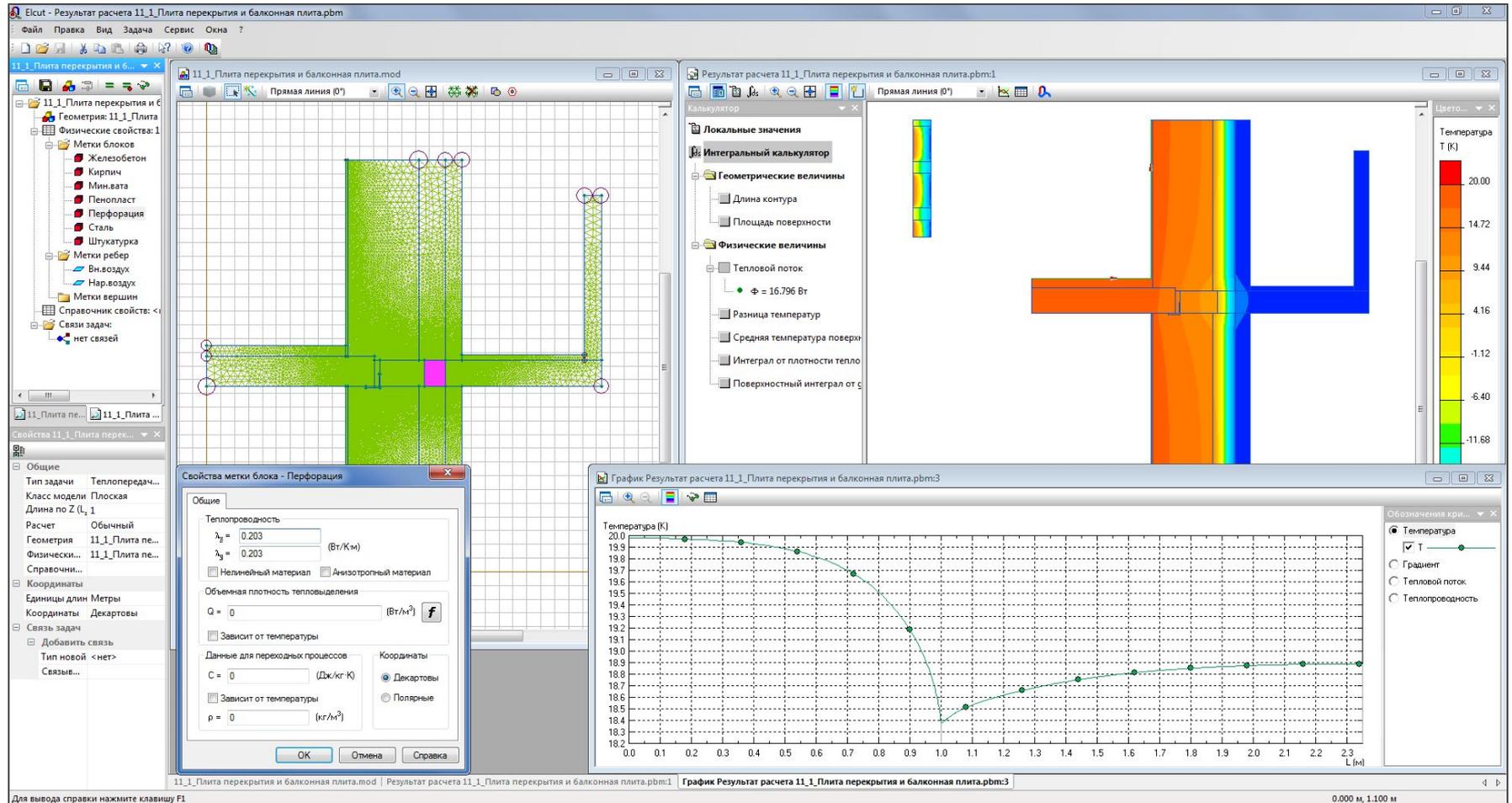
Нормативное требование выполняется при определенных условиях

Оптимизация конструкции

#	Элемент	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м ² ·°С)
1	Линейный элемент 1	0,00004
2	Линейный элемент 2	-0,00007
3	Линейный элемент 3	0,011
4	Линейный элемент 4	0,016
5	Линейный элемент 5	-0,00001
6	Линейный элемент 6	0,010
7	Линейный элемент 7	0,014
8	Линейный элемент 8	0,01
9	Линейный элемент 9	0,007
10	Линейный элемент 10	0,0005
11	Линейный элемент 11	0,096
12	Линейный элемент 12	0,002
13	Точечный элемент 1	0,019
14	Плоский элемент 1	0,181



Линейный элемент 11: перфорация балконной плиты в соотношении 3/1 по длине толщиной 150 мм



Оптимизация конструкции

#	Элемент	Удельный поток теплоты, обусловленный элементом, Вт/(м ² ·°C)
1	Линейный элемент 1	0,00004
2	Линейный элемент 2	-0,00007
3	Линейный элемент 3	0,011
4	Линейный элемент 4	0,016
5	Линейный элемент 5	-0,00001
6	Линейный элемент 6	0,010
7	Линейный элемент 7	0,014
8	Линейный элемент 8	0,01
9	Линейный элемент 9	0,007
10	Линейный элемент 10	0,0005
11	Линейный элемент 11	0,096
12	Линейный элемент 12	0,002
13	Точечный элемент 1	0,019
14	Плоский элемент 1	0,181



$$R_o^{np} = 3,38 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$$

$$r = \frac{3,38}{5,53} = 0,61$$

$$R_o^{np} \geq R_o^{норм}$$

**Поэлементное
требование
выполняется**

1. Основные понятия
2. Теплотехнические неоднородности
3. Основные виды ограждающих конструкций современных зданий
4. Элементный подход к расчету приведенного сопротивления теплопередаче
5. Нормативные требования тепловой защиты зданий
6. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче ограждения
7. Пример расчета. Проверка поэлементного требования
- 8. Результаты и выводы**

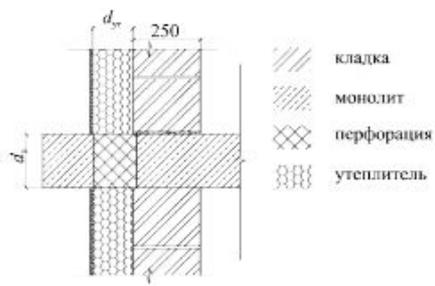
1. Применение элементного подхода к расчету приведенного сопротивления теплопередаче фрагмента ограждающей конструкции
2. Определение удельных потерь теплоты с помощью расчета температурных полей
3. Изменение узлов конструкции для повышения теплозащитных свойств наружных ограждений
4. Создание таблиц с расчетными характеристиками различных узлов конструкций
5. Использование таблиц в процессе проектирования и экспертной оценки наружных ограждений

Таблицы с расчетными характеристиками теплотехнических неоднородностей



СП 230.1325800.2015

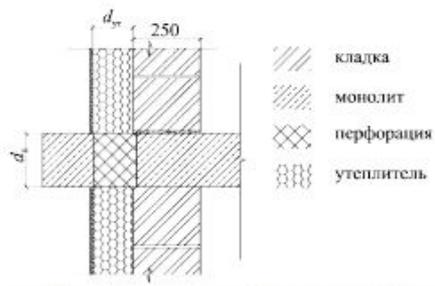
Т а б л и ц а Г.19 – Удельные потери теплоты Ψ , Вт/(м²·°С), для узла сопряжения балконной плиты со стеной. Стена с наружным утеплением и тонкой облицовкой. Перфорация 3/1



	$d_n = 160 \text{ мм}$		
	$\lambda_0 = 0,2$	$\lambda_0 = 0,6$	$\lambda_0 = 1,8$
$R_{\text{ст}} = 1,5$	0,279	0,265	0,285
$R_{\text{ст}} = 3,0$	0,225	0,227	0,244
$R_{\text{ст}} = 6,0$	0,209	0,219	0,237
$d_n = 210 \text{ мм}$			
$R_{\text{ст}} = 1,5$	0,335	0,315	0,333
$R_{\text{ст}} = 3,0$	0,281	0,283	0,302
$R_{\text{ст}} = 6,0$	0,268	0,279	0,297

Пр и м е ч а н и е – Соотношение пустоты/бетонные перемычки 3/1 – типовое для современного строительства. Оно эффективней, чем соотношение пустот 1/1, примерно в 1,4 раза и позволяет достигать целевые значения сопротивления теплопередаче в большинстве практически важных случаев.

Т а б л и ц а Г.20 – Удельные потери теплоты Ψ , Вт/(м²·°С), для узла сопряжения балконной плиты со стеной. Стена с наружным утеплением и тонкой облицовкой. Перфорация 5/1



	$d_n = 160 \text{ мм}$		
	$\lambda_0 = 0,2$	$\lambda_0 = 0,6$	$\lambda_0 = 1,8$
$R_{\text{ст}} = 1,5$	0,227	0,202	0,210
$R_{\text{ст}} = 3,0$	0,173	0,171	0,179
$R_{\text{ст}} = 6,0$	0,168	0,171	0,183
$d_n = 210 \text{ мм}$			
$R_{\text{ст}} = 1,5$	0,269	0,240	0,244
$R_{\text{ст}} = 3,0$	0,219	0,213	0,223
$R_{\text{ст}} = 6,0$	0,213	0,219	0,230

Пр и м е ч а н и е – Как видно из таблицы дальнейшее наращивание перфорации все слабее и слабее сказывается на удельных потерях теплоты. Рассмотренный уровень перфорации (5/1) вполне достаточен для эффективного обеспечения целевых сопротивлений теплопередаче, однако вызывает сомнения техническая осуществимость балкона с достаточной несущей способностью при такой перфорации.

1. Проектные институты и организации

- разработка и оптимизация конструктивных узлов
- проектирование тепловой защиты здания
- проверка нормативных требований
- разработка раздела “Энергоэффективность”

2. Органы экспертизы

- экспертиза проектных решений
- проверка определенных разделов проектной документации

3. Строители, строительный надзор

- расчет строительных узлов “как есть”

4. Производители строительных конструкций, изделий и материалов

- разработка каталогов температурных полей узлов
- разработка каталогов и таблиц с расчетными характеристиками узлов конструкций
- расчет теплопроводности строительных элементов (например, пустотных стеновых блоков)

Расчет температурных полей - повышение культуры и точности теплотехнических расчетов в строительстве



Расчет температурных полей в ELCUT при проектировании тепловой защиты зданий.

Часть 1

http://elcut.ru/seminar/seminar_kraynov1.htm



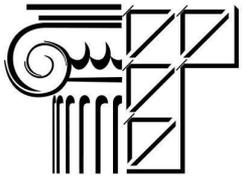
Крайнов Дмитрий Владимирович

к.т.н., старший преподаватель
кафедра “Теплоэнергетики, газоснабжения и вентиляции”
Казанский государственный архитектурно-строительный
университет (Россия, г. Казань)

E-mail: dmitriy.kraynov@gmail.com

Internet: thermofield.blogspot.ru
tgv.kgasu.ru
te.kgasu.ru





Казанский государственный архитектурно-
строительный университет (КГАСУ)
г. Казань

www.kgasu.ru

ООО "Тор"
г. Санкт-Петербург

www.elcut.ru



Спасибо за внимание!

18 ноября 2015 года