

Езерский Валерий Александрович, член-корреспондент МИА, д.т.н., профессор, заведующий кафедры «Основы строительства и строительная физика» политехнического института (г.Белосток, РП)

Монастырев Павел Владиславович, к.т.н., доцент кафедры «Архитектура и строительство зданий» Тамбовского государственного технического университета

Лабораторные работы на тему:
**ТЕПЛОПЕРЕДАЧА В ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЯХ
ВЕНТИЛИРУЕМОГО ФАСАДА**

Введение

Основу вентилируемых фасадов составляет крепежный каркас, который при помощи анкерных болтов закрепляется на несущей части стены здания. В большинстве случаев такие элементы крепежного каркаса, как анкеры, кронштейны и направляющие, выполняются из металла – материала обладающего большой теплопроводностью, а вся конструкция каркаса в целом проходит через теплоизолирующую часть стены. Это приводит к тому, что вентилируемый фасад вносит существенные элементы теплотехнической неоднородности в конструкцию стен. Наличие неоднородных участков изменяет температурное поле стены и вызывает понижение температуры внутренней ее поверхности. Неравномерное распределение температуры на внутренней поверхности стены может привести к образованию конденсата на некоторых ее участках, что ухудшает микроклимат помещений и снижает их санитарно-гигиенические условия. Кроме того, образование конденсата может быть причиной порчи отделки внутренней поверхности ограждения

Решение задачи распределения температурных полей в зоне примыкания крепежного каркаса вентилируемого фасада к стене можно решать двумя путями. Первый – основан на определении температурных полей экспериментально. Такой подход является не рациональным, потому что связан с большими затратами средств и времени.

Второй путь заключается в исследовании температурных полей численными методами с помощью математического моделирования температурного поля на электронно-вычислительных машинах. В настоящее время существует множество программ, позволяющих с высокой точностью строить температурные поля в неоднородных конструкциях различной сложности, как в двух-, так и трехмерном пространстве.

В данных лабораторных работах моделирования двухмерных температурных полей производится с помощью программы ELCUT версии 4.2Т производственного кооператива ТОР [1].

Это связано с тем, что:

- во-первых, наибольший интерес с теплотехнической точки зрения представляет характер распределения температур на внутренней поверхности стены, который в зоне крепления каркаса вентилируемого фасада к несущей стене здания можно считать симметричным относительно анкерного болта, что делает достаточным для проведения исследования использовать программы, решающие двухмерные задачи;
- во-вторых, задание геометрических и теплофизических параметров элементов конструкций вентилируемых фасадов в двухмерных программах менее трудоемка по сравнению с трехмерным моделированием.

Программное обеспечение

ELCUT – это интегрированная диалоговая система, которая может выполнять линейный и нелинейный температурный анализ в плоской и осесимметричной постановке. Формулировка задачи основывается на уравнении теплопроводности с граничными условиями радиационного и конвективного теплообмена.

При постановке задачи ELCUT позволяет задать:

- свойства сред (ортотропные материалы с постоянной теплопроводностью, изотропные материалы с теплопроводностью и теплоемкостью, зависящими от температуры);
- источники поля (постоянные и зависящие от температуры объемные источники тепловой мощности, конвективные и радиационные источники);
- граничные условия (заданная температура, заданный тепловой поток на границе, условия радиационного и конвективного теплообмена а также поверхности с постоянной, наперед неизвестной температурой).

Геометрическая конфигурация задачи в ELCUT определяется как набор подобластей, представляющих собой одно- и многосвязные криволинейные многоугольники в плоскости модели, не пересекающиеся между собой иначе как по границе. Каждой подобласти приписан определенный набор физических свойств.

Создание модели в программе происходит в три этапа:

- ввод геометрических объектов и манипулирование ими;
- задание свойств, источников поля и граничных условий;
- построение сетки конечных элементов

В основу программы ELCUT положен метод конечных элементов. Построение конечно-элементной сетки основано на методе геометрической декомпозиции, обеспечивающим плавный переход от маленьких элементов к более крупным, что позволяет построить весьма густую сетку в одних

областях и редкою в других (рис.1). Такая возможность увеличивает скорость и точность расчетов.

При решении линейных задач теплопередачи в плоском случае в ELCUT используется уравнение теплопроводности в виде:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = -q - c\rho \frac{\partial T}{\partial t},$$

где T – температура, К; t – время, с; $\lambda_{x(y)}$ – компонента тензора теплопроводности, (Вт/(К·м)); q – удельная мощность тепловыделения, Вт/м²; c – удельная теплоемкость, Дж/(кг·К); ρ – плотность, (кг/м³).

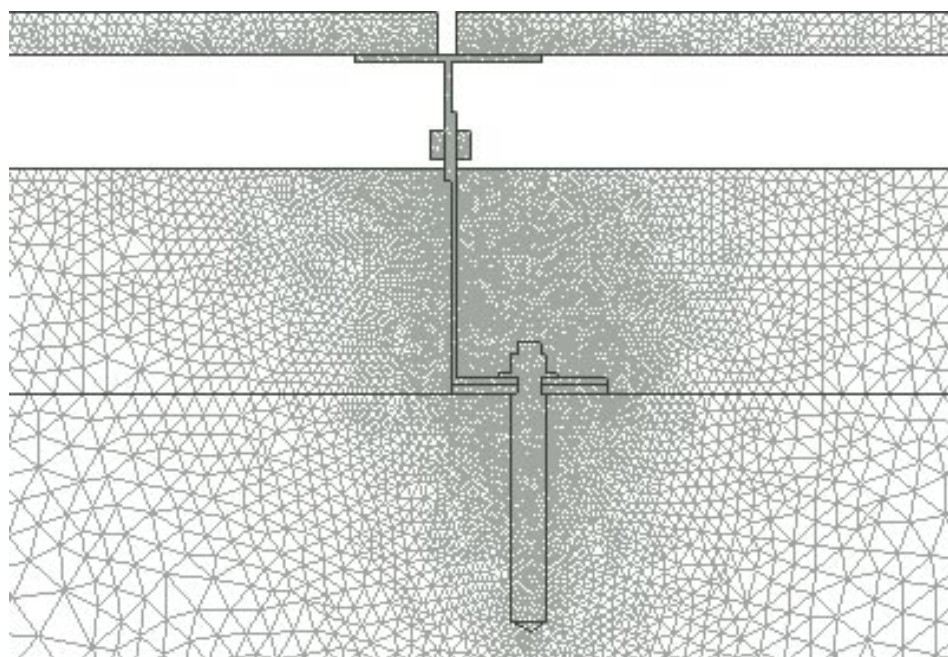


Рис.1. Расчетная сетка конечных элементов

Результатом расчета являются поля распределения: температур; градиента температур; плотности теплового потока и интегральные значения теплового потока через заданные поверхности. Для нестационарных задач - графики и таблицы изменения физической величины во времени.

В ELCUT имеется интегральный калькулятор, который может вычислять различные интегральные значения на заданных линиях и поверхностях. Распределение температуры может быть передано в задачу расчета механического напряженного состояния (совмещенная термо-упругая задача) или в задачу расчета нестационарного теплового поля [2].

Лабораторная работа № 1

Исследование температурного поля наружной стены в узлах крепления каркаса вентилируемого фасада

Цель работы: ознакомление с моделированием температурных полей на ЭВМ с использованием программы ELCUT; построение и изучение температурных полей в плоских сечениях узлов крепления каркаса вентилируемого фасада для условий стационарной теплопередачи.

Порядок выполнения работы

1. Запустить на компьютере программу ELCUT.
2. Создать новое пустое описание задачи. Для этого выбрать позицию **Создать** из меню **Файл** и затем указать **Задача ELCUT**.
3. В раскрывшемся диалоговом окне ввести имя и путь для нового описания задачи.
4. Выбрать параметры новой задачи: тип анализа, класс симметрии, точность решения, единицы измерения длины и др.
5. Согласно шифра задания по табл.1 и рис.2. выбрать геометрические и теплофизические параметры крепежного узла вентилируемого фасада, а также его граничные условия.

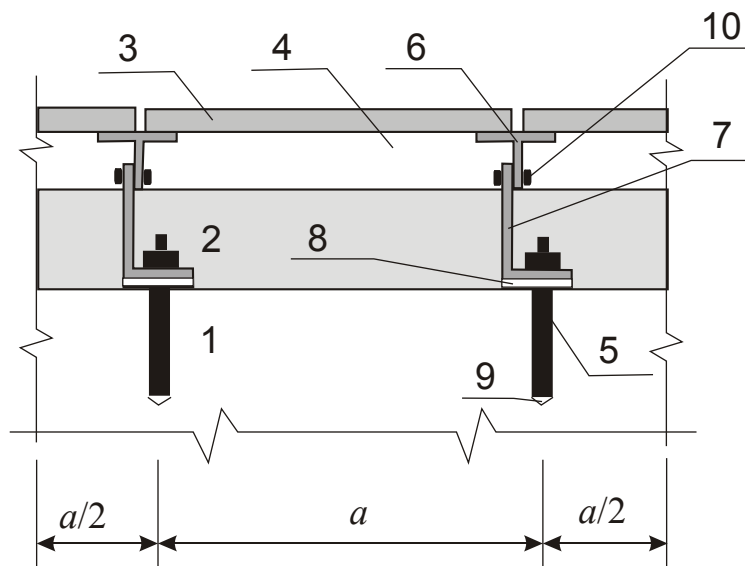


Рис.2. Исследуемая конструкция вентилируемого фасада с вертикальным расположением направляющих:

1 – несущая часть стены; 2 – теплоизоляционный материал; 3 – облицовочная панель; 4 – воздушная прослойка; 5 – анкерный болт распорного типа; 6 – направляющая крепежного каркаса; 7 – кронштейн крепежного каркаса; 8 – теплоизолирующая прокладка; 9 – воздушная полость; 10 – болт для крепления направляющей к кронштейну

Таблица 1

Исходные данные

Исходные данные	Шифр задания								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура внутреннего воздуха, °С	12	15	18	20	12	15	18	20	18
Температура наружного воздуха, °С	-25	-27	-28	-30	-20	-23	-32	-35	-26
Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены для зимних условий эксплуатации α_n , Вт/(м ² ·°С)	23								
Коэффициент теплоотдачи вентилируемой воздушной прослойки α_n , Вт/(м ² ·°С)	12								
Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены $\alpha_{вн}$, Вт/(м ² ·°С)	8,7								
Коэффициент теплопроводности защитно-декоративной облицовочной панели, Вт/(м·°С)	0,3	3,49	0,9	3,0	1,2	2,7	1,5	2,3	2,0
Толщина защитно-декоративной облицовочной панели, мм	8	10	12	14	16	18	20	22	24
Толщина вентилируемой прослойки, мм	20	30	40	50	60	70	80	30	50
Коэффициент теплопроводности утеплителя, Вт/(м·°С)	0,038	0,040	0,042	0,050	0,060	0,070	0,060	0,050	0,042
Толщина утеплителя, мм	100	200	120	180	140	160	150	160	140
Коэффициент теплопроводности несущей конструкции стены, Вт/(м·°С)	0,81	0,33	1,20	0,45	0,90	0,33	0,81	1,2	0,45
Толщина несущей конструкции стены, мм	350	400	380	510	640	200	510	380	300
Коэффициент теплопроводности крепежного каркаса, Вт/(м·°С)	221	58	221	58	221	58	221	58	221
Толщина несущего каркаса, мм	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	2,5	2,0	3,0
Размер основания кронштейна, мм	40x40	50x50	60x60	70x70	80x80	90x90	60x60	70x70	80x80
Коэффициент теплопроводности теплоизолирующей прокладки, Вт/(м·°С)	-	0,09	0,06	-	0,07	0,05	-	0,09	0,08
Толщина несущего каркаса, мм	-	4	5	-	3	6	-	5	4
Диаметр анкерного болта, мм	8	10	12	14	16	20	24	16	18
Глубина заложения анкерного болта, мм	150	130	80	100	120	60	50	100	70
Коэффициент теплопроводности анкерного болта, Вт/(м·°С)	58								
Расстояние между анкерами, мм	600	800	1200	1400	1500	800	600	900	1000

6. Задать геометрические параметры модели.
7. Задать теплофизические параметры модели.
8. Задать граничные условия для созданной модели.
8. Построить сетку конечных элементов.
9. Решить задачу.
10. Произвести анализ результатов расчета:
 - а) изучить конфигурацию поля температур и теплового потока;
 - б) найти минимальную температуру на внутренней поверхности стены $\tau_{в}^*$, °С;
 - в) найти среднюю температуру на внутренней поверхности стены и на наружной поверхности облицовочных панелей;
 - г) построить графики распределения температур на внутренней поверхности стены и по его сечению в месте анкерного болта.

Лабораторная работа № 2

Исследование влияния теплотехнических свойств материалов и геометрических параметров элементов, входящих в крепежный узел вентилируемого фасада, на температуру внутренней поверхности стены.

Цель работы: закрепление навыков моделирования температурных полей на ЭВМ с использованием программы ELCUT; изучение распределения температуры на внутренней поверхности стены в месте крепежного узла вентилируемого фасада при различных сочетаниях теплотехнических свойств материалов, входящих в крепежный узел, и их геометрических параметров.

Порядок выполнения работы

1. Загрузить на компьютере программу ELCUT.
2. Откройте задачу, решенную в лабораторной работе № 1.
3. Загрузите геометрическую модель, которую строили в лабораторной работе № 1.
4. Измените геометрические и теплофизические параметры узла крепления вентилируемого фасада, которые приведены в табл.2, таким образом, что бы их значения равнялись средним значениям, указанным в табл.2.

Таблица 2

Исследуемые факторы и границы их варьирования

№ п/п	Наименование фактора	Уровни варьирования		
		мин.	сред.	макс.
Несущая конструкция стены				
1	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	0,33	0,57	0,81
2	Толщина, мм	250	280	510
Крепежный каркас				
3	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)	58	139,5	221
Теплоизолирующая прокладка				
4	Толщина, мм	0	5	10
Анкерный болт крепежного каркаса				
5	Глубина заложения, мм	50	100	150
6	Расстояние между анкерами, мм	400	800	1200

5. Для измененной таким образом модели, с помощью программы ELCUT, построить температурное поле и определить минимальную температуру (τ_b^* , °С) на внутренней поверхности стены.
6. Полученный результат занести в табл.3.

Таблица 3

Результаты расчета температуры внутренней поверхности наружных стен в местах устройства крепежного узла ($\tau_{в}^*$, °С) от исследуемых факторов (1...6)

№ п/п	Наименование фактора	Минимальная температура на внутренней поверхности стены $\tau_{в}^*$, °С при уровне варьирования фактора		
		мин.	сред.	макс.
Несущая конструкция стены				
1	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)			
2	Толщина, мм			
Крепежный каркас				
3	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)			
Теплоизолирующая прокладка				
4	Толщина, мм			
Анкерный болт крепежного каркаса				
5	Глубина заложения, мм			
6	Расстояние между анкерами, мм			

7. Произвести расчеты, при которых значения всех факторов, приведенных в табл.2 находятся на среднем уровне, а один из них варьировался от нижнего до верхнего. Результаты расчетов занести в табл.3.

8. По результатам расчетов построить график зависимости минимальной температуры внутренней стены ($\tau_{в}^*$, °С) от исследуемых факторов.

9. На основании графика сделать выводы о силе влияния изменяемых параметров вентилируемого фасада приведенных в табл.2.

Контрольные вопросы

1. Для чего необходимо знать распределение температур на внутренней поверхности стены и в ее сечении?

2. Какими методами можно исследовать распределение температур в сечении стены?

3. От чего зависит понижение температуры на внутренней поверхности стены в месте устройства крепежного узла вентилируемого фасада?

4. Какой порядок создания модели в программе ELCUT?

5. Какими способами можно представить результаты решения задачи в программе ELCUT?

Литература:

1. Программа моделирования двумерных полей ELCUT. - <http://www.tor.ru/elcut>

2. ELCUT Моделирование температурных полей методом конечных элементов. Версия 4.2Т. Руководство пользователя. / Производственный кооператив ТОР. - Санкт-Петербург, 2000. – 185 с.