

УДК 699.86.001.63

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЧЕРЕЗ  
ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ ЗДАНИЙ ЧИСЛЕННЫМ  
МЕТОДОМ**

*\* И.И. Куличенко, инж., Т.Д. Никифорова, к.т.н., Н.В. Савицкий, д.т.н.  
\*Днепропетровский исполком,*

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

**Актуальность проблематики и постановка задачи.** В исследованиях, проводимых в ПАГАСА, теплотехнические расчеты выполняются численным методом с использованием программы HEAT 2. Программа HEAT 2 разработана на факультете строительной физики университета города Лунда (Швеция). Программа предназначена для решения задач стационарной и нестационарной теплопередачи в случае одномерного и двумерного температурных полей. Подробная характеристика программы приведена в работе [1].

Программа составлена в операционной системе MS-DOS. Главное меню содержит шесть блоков: 1) работа с файлами (File); 2) ввод исходных данных (Input); 3) решение задачи (Solve); 4) вывод результатов расчета (Output); 5) графического представления результатов расчета (Graphics); 6) установки математических параметров решения системы алгебраических уравнений (Settings).

В основу метода расчета температурных полей положено решение системы дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка. Известным методом конечных разностей [2] указанную систему аппроксимируют системой алгебраических уравнений, решаемых методом Гаусса-Зейделя.

Исходная информация содержит: 1) данные по геометрии описываемой области, составленной из прямоугольных элементов; 2) описание теплотехнических характеристик материалов; 3) описание граничных условий, которые однозначно определяют расчетный фрагмент, процесс выполнения и результаты расчета.

Граничные условия могут задаваться в виде: 1) постоянной температуры; 2) фиксированного теплового потока; 3) закономерности изменения температур во времени; 4) закономерности изменения теплового потока во времени.

Функция изменения температуры или теплового потока может задаваться в виде: 1) периодической функции, изменяющейся согласно закону:  $f(t)=f_1+f_2\sin(2\pi(t-t_0)/t_p)$ , где:  $f_1, f_2, t_0, t_p$  – задаваемые функции; 2) ступенчатой функции с постоянным значением на определенном участке аргумента (времени); 3) линейной функции на отдельных участках. В случае 2) и 3) возможно задаваться количеством участков, длиной участков, значением функции.

Результаты расчета на ЭВМ могут быть представлены в числовом и графическом виде. Результатом расчета могут являться: 1) температуры в

определенных точках; 2) тепловые потоки через границы; 3) графики температурных полей в полихромном варианте, изотермы или их комбинация.

Для расчета двумерного температурного поля с помощью ЭВМ исходные данные формируют согласно следующим этапам:

а) выбирают участок ограждающей конструкции, двумерной в отношении распределения температур;

б) составляют расчетную схему изучаемой части ограждающей конструкции путем ее упрощения. При этом заменяют сложные конфигурации участков, например, криволинейные более простыми. Наносят на расчетную схему границы области исследования и оси координат. Выделяют участки с различными теплотехническими характеристиками, и указывают условия теплообмена на границах. Проставляют все необходимые размеры;

в) расчленяют область исследования на элементарные блоки линиями, параллельными координатным осям, выделяя отдельно участки с различными коэффициентами теплопроводности; при этом размеры элементарных блоков для отдельных участков могут отличаться по размерам, т.е. разбивка на блоки может быть неравномерной. Линии разбивки должны совпадать с границами участков с различными теплопроводностями. В тех частях, где ожидается резкое изменение температуры, следует проводить более детальную разбивку;

г) проставляют координаты вершин полигонов, ограничивающих участки области с различными теплопроводностями, и координаты вершин прямоугольников, образующих границы исследуемой области. Нумеруют участки и границы исследуемой области и вершины областей теплопроводностей, температур (или тепловых потоков) на границах или окружающего воздуха и коэффициентов теплоотдачи и тепловосприятя;

д) составляют комплект численных значений исходных данных;

е) исходные данные задачи передаются на счет с указанием о графическом выводе результатов или без него.

Как известно, в основе конечно-разностного метода решения уравнения теплопроводности Фурье [3], описывающего нестационарную теплопередачу через многослойное ограждение, лежит замена производных искомой функции температуры по времени и координате конечно-разностными отношениями с помощью значений сеточной функции в узлах сетки [4]. Тогда задача теплопроводности сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений относительно значений сеточной функции на каждом слое.

Методы решения систем линейных уравнений делятся на прямые и итерационные [4]. В программе HEAT 2 используется итерационный метод. Решение линейных систем с использованием итерационных методов имеет определенные преимущества перед прямыми методами, однако, при этом сходимость итераций может быть очень медленной, поэтому ищутся эффективные пути ее ускорения. В программе использован модифицированный метод Гаусса-Зейделя.

Модификация метода Гаусса-Зейделя заключается в использовании коэффициента релаксации, ускоряющего процесс сходимости итераций. При

этом значение коэффициента релаксации находится в пределах:  $1 \leq \omega \leq 2$ . Заметим, что при  $\omega=1$  приходим к классическому методу Гаусса-Зейделя.

**Целью** настоящей работы является поиск оптимального значения коэффициента релаксации для ускорения процесса сходимости итераций при решении системы уравнений, описывающих теплопередачу и тестирование программы HEAT 2.

Для назначения коэффициента релаксации в модифицированном методе Гаусса-Зейделя в качестве тестовой была решена задача теплопроводности для области стены с теплопроводным включением, изображенным на рис. 1. Для этого определялось значение теплового потока через конструкцию при разнице температур в 1 градус Цельсия. Геометрические и теплотехнические характеристики материалов приведены в табл. 1.

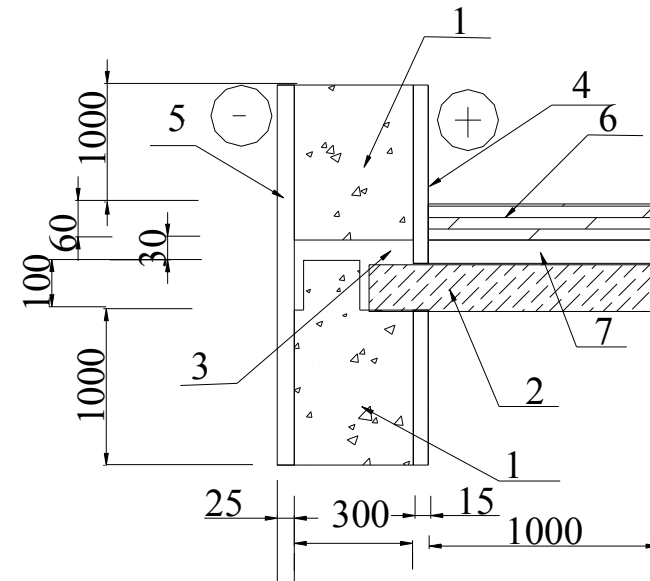


Рис. 1. Схема конструкции стены.

Для назначения оптимального коэффициента релаксации, обеспечивающего минимальное количество итераций, задавались последовательно значения коэффициента релаксации, и определялось количество итераций и время счета задачи. Критерием окончания расчета считали момент, когда величина входящего потока тепла равнялась выходящему или разница между ними равнялась нулю, т.е. достижение стационарного состояния. Результаты расчета приведены в табл. 2, 3 и на рис. 2.

Таблица 1

Теплотехнические характеристики материалов стены

№ слоя	Материал	Толщина, мм	$\lambda$ , Вт/(м °С)	R, (м <sup>2</sup> °С)/Вт
1	Керамзитобетон	300	0,52	0,577
2	Железобетон	100	1,92	0,052
3	ЦП раствор	30	0,76	0,039
4	ЦП штукатурка	15	0,76	0,197
5	Фактурный слой	25	0,76	0,033
6	Гипсовая плита	60	0,41	0,146
7	Воздушная прослойка	30	0,188	0,15

Таблица 2

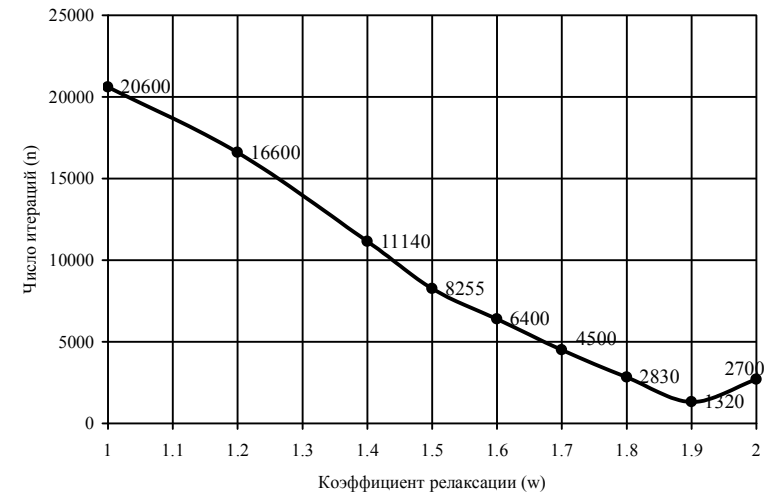
Ресурсы, требуемые для работы программы при решении тестовой задачи с изменением коэффициента релаксации ( $w$ ) в диапазоне  $w=1 \dots 2$

Коэффициент релаксации ( $w$ )	Число итераций	Продолжительность расчета *, мин	Примечания
1,0	20600	35	
1,2	16600	29,25	
1,4	11140	19	
1,5	8255	14	
1,6	6400	10,8	
1,7	4500	7,5	
1,8	2830	5	
1,9	1320	2,25	
2,0	2700	4,5	

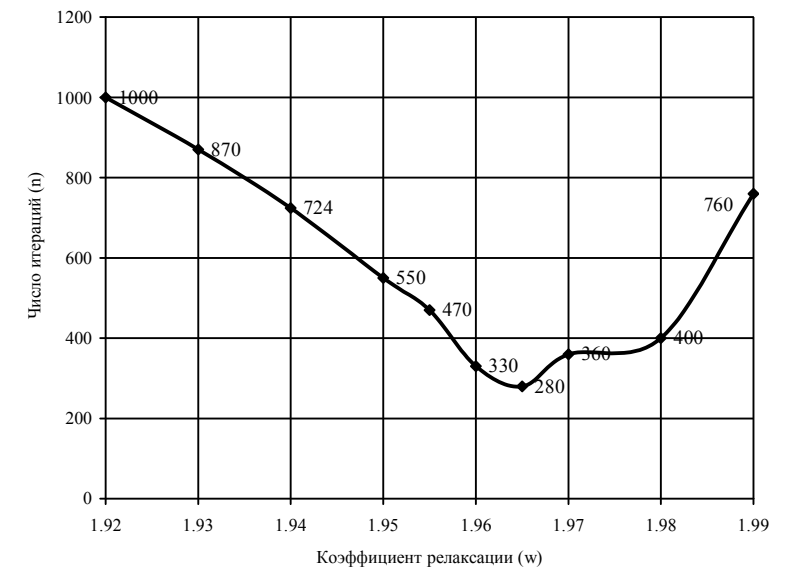
Результаты счета свидетельствуют о том, что оптимальным значением коэффициента релаксации для решения задачи теплопроводности является значение  $w=1,96$ . По сравнению с классическим методом Гаусса-Зейделя при  $w=1$  время счета задачи и количество итераций при этом уменьшается в 61 раз.

При значениях коэффициента релаксации  $w \geq 1,965$  расчет становится неустойчивым, т.е. не выполняется равенство входящего и выходящего теплового потоков. Таким образом, в дальнейшем при решении других задач теплопроводности использовали оптимальное значение коэффициента релаксации  $w=1,96$ .

Результаты расчета тестовой задачи о распределении температурных полей на фрагменте ограждающей конструкции приведены на рис. 3.



а)



б)

Рис. 2. Зависимость числа итераций от коэффициента релаксации  
 а) в диапазоне  $w=1 \dots 2$ ;  
 б) в диапазоне  $w=1,92 \dots 1,99$ .

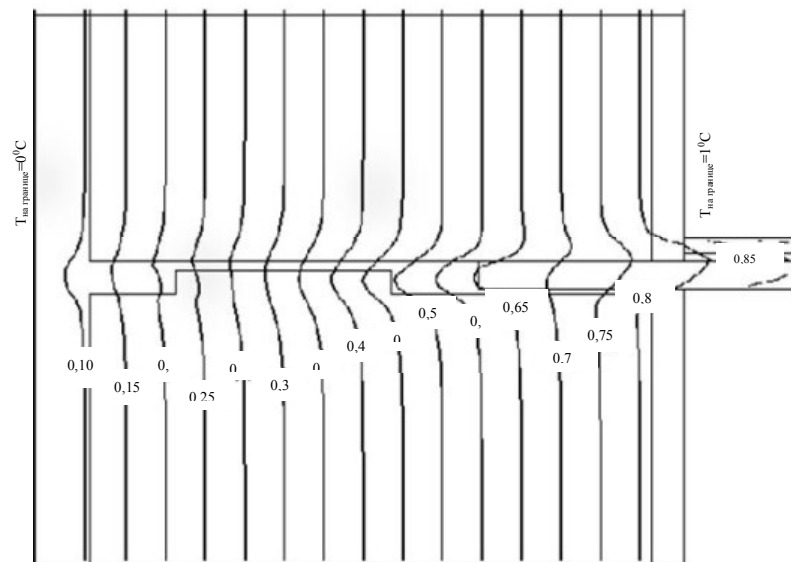


Рис. 3. Распределение температур в сечении стены.

Таблица 3

Ресурсы, требуемые для работы программы при решении тестовой задачи с изменением коэффициента релаксации ( $w$ ) в диапазоне  $w=1,92 \dots 1,99$

Коэффициент релаксации ( $w$ )	Число итераций	Продолжительность расчета *, мин	Примечания
1,92	1023	1,75	
1,93	870	1,5	
1,94	724	1,25	
1,95	550	0,93	
1,955	470	0,8	
1,96	330	0,57	
1,965	280	0,5	
1,97	360	0,62	Зона неустойчивых решений
1,98	400	0,67	
1,99	760	1,27	

\* Расчет выполнялся на ЭВМ, оборудованной процессором с тактовой частотой 133 МГц.

**Тестирование программы расчета теплопередачи.**

Для тестирования программы расчета теплопередачи HEAT 2 сравнивались результаты расчета характеристик процесса теплопереноса на фрагментах ограждающих конструкций, имеющих аналитическое решение или известное численное решение с использованием других программных продуктов.

В качестве тестовой задачи, имеющей аналитическое решение, рассмотрен фрагмент панельной стены из керамзитобетона с теплопроводным включением из минерального утеплителя (рис. 4). В качестве “эталонного” решения принята методика расчета характеристик теплопередачи по СНиП П-3-79\*\*[5]. Сравнивались результаты расчета по СНиП П-3-79\*\* и по программе HEAT 2 такой характеристики, как температура внутренней поверхности  $t'_в$  ограждающей конструкции (по теплопроводному включению) при разности температур  $10^0\text{C}$ . Исходные данные приведены в табл. 4. Результаты расчета приведены на рис. 5.

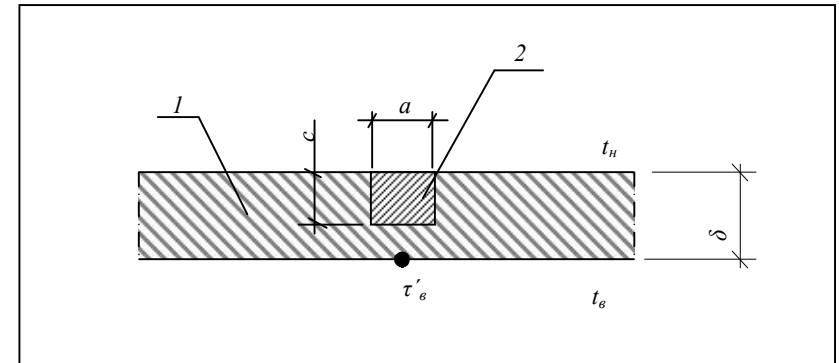


Рис. 4. Фрагмент стены с теплопроводным включением по Приложению 5\* [5].

Таблица 4

Теплотехнические характеристики материалов стены

№ п/п	Наименование материала	$\lambda$ , Вт/(м·°C)	$\delta$ , м	$a$ , м	$c$ , м
1	Керамзитобетон	0,52	0,3	-	-
2	Тяжелый бетон	1,74	-	0,15	0,06

**Примечание:** в скобках приведены результаты расчета температур по программе HEAT 2.

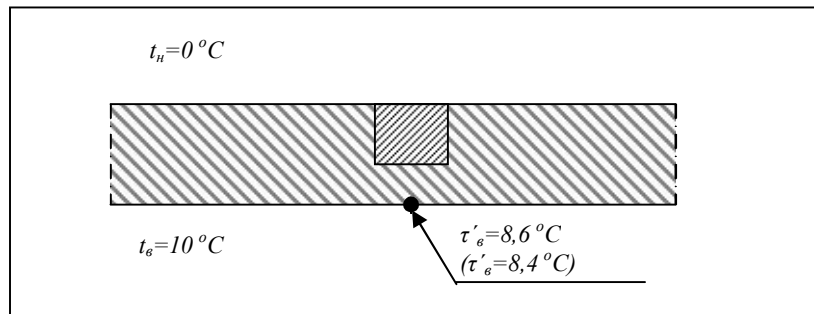


Рис. 5. Температура внутренней поверхности  $\tau'_e$  ограждающей конструкции по теплопроводному включению.

Данные свидетельствуют, что расхождение в результатах расчета температур по методике СНиП [5] (“эталонной”) и численным методом с использованием программы HEAT 2 практически незначимо. Температура внутренней поверхности  $\tau'_e$  ограждающей конструкции (по теплопроводному включению), вычисленная по методике [5] -  $8,6^\circ\text{C}$ , а по программе HEAT 2 –  $8,4^\circ\text{C}$ , т.е. разница не превышает 2,3 %.

В качестве тестовой задачи, имеющей численное решение, рассмотрен фрагмент вертикального углового стыка панелей наружных стен для зданий серии 99 [6]. В [6] численным методом по программе расчета на ЭВМ плоских стационарных температурных полей узлов сопряжения ограждающих конструкций получены температурные поля в изолиниях (линиях равных температур) и температуры на поверхностях ограждения (рис. 6) для общего случая  $t_e - t_n = 10^\circ\text{C}$ , где  $t_e = 10^\circ\text{C}$ ,  $t_n = 0^\circ\text{C}$ . Распределение температур по внутренней и наружной поверхностям ограждений для расчетных климатических параметров представлено в графическом виде. Пересчет температур, полученных для общего случая при  $t_e - t_n = 10^\circ\text{C}$  на расчетный перепад температур  $(t_e - t_n)_{расч.}$ , производится по формуле:

$$\tau_i = \frac{(t_e - t_n)_{расч.}}{(t_e - t_n)_o} \tau_o + t_n, \quad (1)$$

где  $\tau_i$  - искомая температура точки;

$(t_e - t_n)_o$  – перепад температур для общего случая;

$\tau_o$  – температура той же точки, полученная для общего случая.

При тех же исходных данных была сформулирована расчетная модель и по программе HEAT 2 определены температурные поля и температуры на поверхности конструкции в точках, приведенных на рис 7. Результаты свидетельствуют о качественном совпадении данных, полученных численным методом по [6] и по программе HEAT 2. Данные сравнения температур на поверхностях конструкций, полученных различными методами,



свидетельствуют, что среднее отклонение не превышает 8,5%, при коэффициенте вариации 12%. Учитывая некоторое огрубление в модели расчета по программе HEAT 2 по сравнению с реальной конструкцией углового стыка и некоторую неопределенность в исходных данных, используемых в [6], можно считать, что программа HEAT 2 адекватно описывает процесс теплопереноса и ее можно использовать в качестве основы для дальнейших исследований.

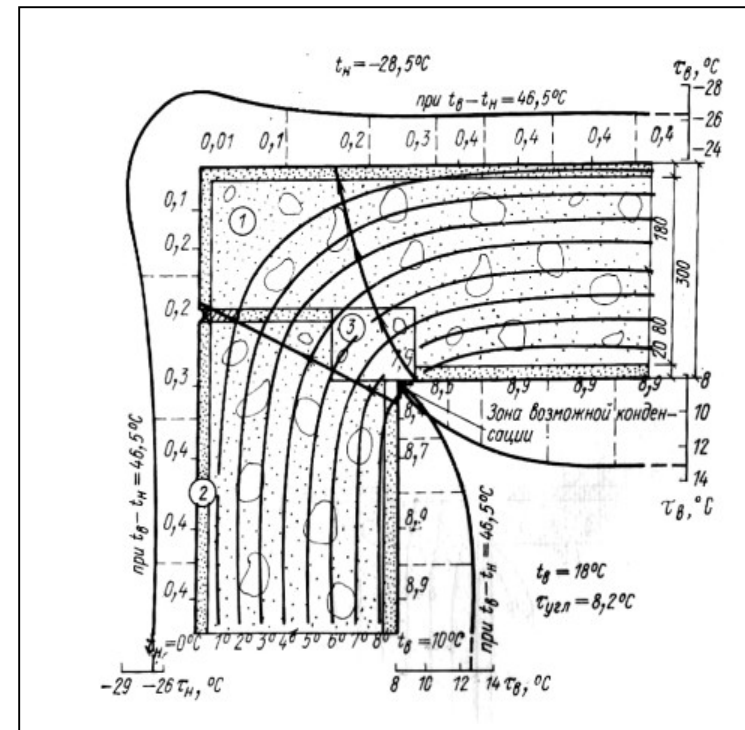


Рис. 6. Температурные поля вертикального углового стыка стеновых панелей здания серии 99 с заполнением стыка тяжелым бетоном: 1 - керамзитобетон,  $\gamma = 900 \text{ кг/м}^3$ ; 2 – цементно-песчаный раствор,  $\gamma = 1800 \text{ кг/м}^3$ ; 3 – бетон,  $\gamma = 2400 \text{ кг/м}^3$ ; 4 - герметик,  $\gamma = 400 \text{ кг/м}^3$ .

### Выводы

1. Для решения задач теплопроводности используется стандартная программа HEAT2. В этой программе решение уравнения теплопроводности Фурье сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений модифицированным методом Гаусса-Зейделя. Модификация метода Гаусса-

Зейделя заключается в использовании коэффициента релаксации.

Путем решения тестовой задачи теплопередачи установлено оптимальное значение коэффициента релаксации  $\omega=1,96$ . При этом по сравнению с классическим методом Гаусса-Зейделя при  $\omega=1,0$  время счета задачи и количество итераций уменьшается более чем в 60 раз.

2. Проведено тестирование программы расчета теплопередачи путем сравнения результатов расчета характеристик процесса теплопереноса на фрагментах конструкций, имеющих аналитическое решение или известное численное решение с использованием других программных комплексов. Максимальное расхождение в результатах расчета по методике СНиП II-3-79\*\* «Строительная теплотехника» и численным методом с использованием программы HEAT 2 не превышает 2,3%. Расхождение в результатах расчета температурных полей и температур на поверхностях конструкций численным методом по программе НИИСФ и HEAT 2 не превышает, в среднем, 8,5% при коэффициенте вариации 12 %. Следовательно, можно считать, что программа HEAT 2 адекватно описывает процесс теплопереноса и ее возможно использовать для исследования энергоэффективности жилых зданий.

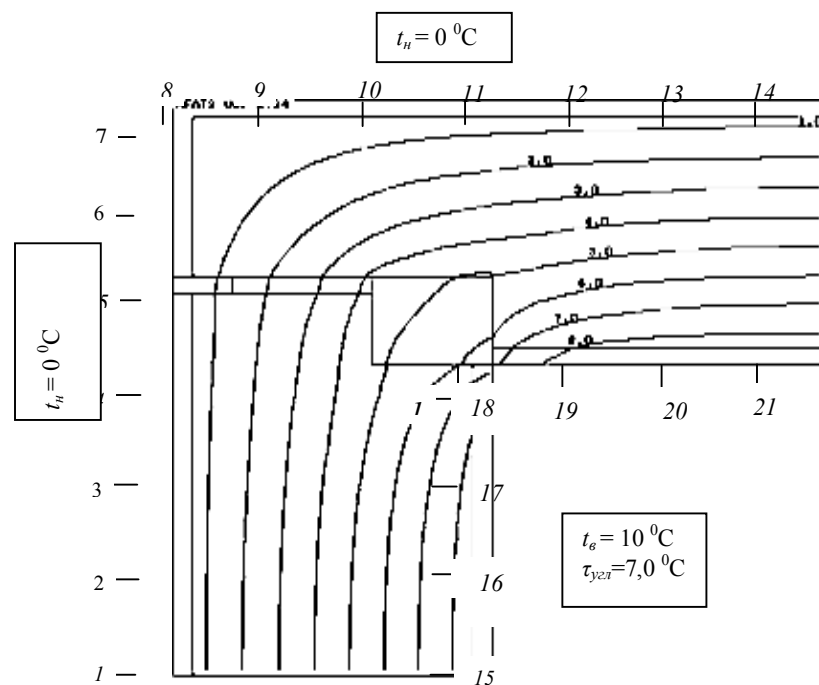


Рис. 7. Температурные поля вертикального углового стыка панелей наружных стен при заполнении стыка тяжелым бетоном.

## ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Меркушов В.Т. Методология технико-экономической оценки проектов термореновации эксплуатируемых жилых зданий: Дис...канд. техн. наук: 05.13.22. – Днепропетровск, 2000. – 148с.
2. Ортега Дж., Пул У. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений / Пер. с англ.; Под ред. А.А. Абрамова.- М.: Наука, 1986. - 288 с.
3. Галин Н.М., Кириллов Л.П. Тепломассообмен (в ядерной энергетике): Учеб. пособие для вузов – М.: Энергоатомиздат, 1987.- 376 с.
4. Турчак Л.И. Основы численных методов: Учеб. пособие.- М.:Наука, 1987. -320 с.
5. СНиП П-3-79\*\* Строительная теплотехника // Госстрой СССР – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1986. – 32 с.
6. Каталог температурных полей узлов типовых ограждающих конструкций. Ч.1: Жилые здания: (Пособие для проектирования)/ Госстрой СССР, НИИ строит. физики. - М.:Стройиздат, 1980. - 111с.

УДК 658.562

## ОСУЩЕСТВЛЕНИЕ СТРАТЕГИИ ОРГАНИЗАЦИИ ЧЕРЕЗ ПРОЕКТЫ

*Д.Л. Левчинский, инженер, соискатель*

*Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры*

Интеграция проектов в стратегический план организации предполагает наличие четкой стратегии и механизма определения приоритета проектов по степени их соответствия плану. Основным фактором, обеспечивающим успешную интеграцию плана с проектом, является процедура открытости и понимания всеми участниками принципов присвоения приоритета проекта.

При рассмотрении, прежде всего, нужно учитывать, соответствует ли предложение (проект) миссии компании, её стратегическим целям, насколько будет велика польза от реализации проекта для компании в целом.

Для эффективной деятельности организации необходимо выстроить две системы.

*Первая система* – это система приоритетов и отбора проектов, увязывающая все проектные предложения со стратегическими направлениями.

*Вторая система* - система мотивации (специальная система поощрений своих работников, увязанная с принципами стратегии организации).

**Целью работы** в данном направлении является разработка системы мотивации поддерживающую общую стратегию организации и направленную на стимулирование инноваций и развитие.

Процесс стратегического управления предусматривает [1]:

1. Анализ и определение миссии организации;
2. Постановка долгосрочных целей и задач;