

УДК 004.422

ОЦЕНКА КОРРЕКТНОСТИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

© С. В. Федоров¹, И. А. Терехова²

¹ Омский государственный технический университет, пр. Мира 11, Омск, Россия

² Государственное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.», ул. Ф.Скорины 15, Минск, Беларусь

¹temper99@mail.ru

²ira.irter@yandex.ru

Аннотация. В статье представлен анализ методики оценки корректности результатов расчетов температурных полей и тепловых потоков через узлы ограждающих конструкций, произведенных методами конечных элементов. Указанная методика реализована для проверки программы «Temper-3d», используемой для выполнения теплотехнических расчетов ограждающих конструкций. Программа «Temper-3d» имеет свидетельство об официальной регистрации на территории Российской Федерации.

Ключевые слова: метод конечных элементов, теплотехнический расчет, корректность теплотехнических расчетов, валидация.

EVALUATION OF CORRECTNESS FOR HEAT TREATMENT OBSERVING STRUCTURES BY THE METHOD OF FINITE ELEMENTS

© S. V. Fedorov¹, I. A. Terekhova²

¹ Omsk State Technical University, pr. Mira, 11, Omsk, Russia

² State Enterprise «Institute of Housing – NIPTIS them. Ataeva S.S.», st. F.Skoriny 15, Minsk, Belarus

¹temper99@mail.ru

²ira.irter@yandex.ru

Abstract. The article presents an analysis of the methodology for estimating the correctness of the calculations results of the temperature fields and heat flows through the nodes of the enclosing structures which were produced by the finite element methods. This technique has been implemented for testing of the «Temper-3d» program, which used to perform thermal engineering calculations of enclosing structures. The «Temper-3d» program has a certificate of official registration in the territory of the Russian Federation.

Keywords: finite element method, heat engineering calculation, correctness of heat engineering calculations, validation.

1. Введение

В связи с изменениями с 2012 года методики расчета приведенного сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций СП 153330.2012 [1] расчеты температурных полей и тепловых потоков через узлы ограждающих конструкций стали наиболее актуальны. При достаточно большом объеме справочных значений удельных теплопотерь через теплотехнические неоднородности ограждений [2–3] их количества и разнообразия бывает недостаточно для расчета приведенного сопротивления теплопередаче ограждения конкретной конструкции. Кроме того, для корректного контроля зон образования конденсата на внутренней поверхности проектируемой ограждающей конструкции в области теплопроводных включений альтернативы температурным полям нет.

Аналитическое решение задач теплопроводности для реальных узлов ограждающих конструкций сложных объемов весьма проблематично [4–5]. Поэтому для решения указанных

задач используют приближенные методы расчета. Наиболее применяемым методом для численного моделирования температурных полей ограждающих конструкций является метод конечных элементов (далее – МКЭ) [6].

Имеется значительное количество работ использующих метод конечных элементов для проведения теплотехнических расчетов [7–12].

В отечественной и зарубежной практике имеется достаточное количество программных комплексов и программ, использующих МКЭ в двумерной, осесимметричной или в трехмерной постановке.

В силу того, что любой численный метод решения дает приближенные результаты, для пользователя программ расчета температурных полей и тепловых потоков является актуальным вопрос об их точности.

Для этих целей в международной практике используют стандартизированные требования, которым должны соответствовать программы расчета температурных полей и тепловых потоков через ограждающие конструкции (стандарт EN ISO 10211 [13]). Смысл требований сводится к общим правилам корректного построения моделей узлов, получения расчетной сетки (разбиения), точности результатов.

В отечественных нормативных документах подобные требования отсутствуют. Имеющиеся требования в [14–17] носят общий характер, не позволяющий количественно оценить качество программного продукта.

2. Методика оценки корректности результатов расчета температурных полей и тепловых потоков

Согласно EN ISO 10211 [13] расчет считается корректным, если выполнены следующие условия.

Условие 1 (точность расчета теплового потока):

Удвоение количества элементов изменяет рассчитанный тепловой поток не более, чем на 1 %;

Условие 2 (точность расчета температуры):

Удвоение количества элементов изменяет температурный коэффициент внутренней поверхности f_{Rsi} не более, чем на 0,005, где:

$$f_{Rsi}(x,y,z) = \frac{\theta_{si}(x,y,z) - \theta_e}{(\theta_i - \theta_e)} \quad \text{– температурный коэффициент внутренней поверхности в}$$

точке (x, y, z) ;

$\theta_{si}(x, y, z)$ – температура внутренней поверхности в точке (x, y, z) ;

θ_i – температура воздуха внутри помещения;

θ_e – температура воздуха снаружи помещения.

Условие 3 (погрешность расчета теплового баланса)

Сумма тепловых потоков через всю границу конструкции (входящих и выходящих), деленная на половину суммы абсолютных значений, должна быть не более 0,0001 (0,01%).

Численная реализация метода должна позволять производить расчеты в трехмерной постановке с достаточно большим числом неизвестных.

Также в программе должна быть предусмотрена возможность автоматического измельчения конечно-элементной сети в 2 раза по каждой оси координат для оценки погрешности.

Для оценки корректности программ расчета температурных полей и тепловых потоков в EN ISO 10211 [13] приведены 4 тестовых задачи, которые должны быть решены с требуемой точностью.

Процедура валидации (подтверждение соответствия установленным требованиям на основе объективных доказательств) EN ISO 10211 была выполнена для программы рас-

чета температурных полей и тепловых потоков узлов ограждающих конструкций «Temper-3d» [19–20].

3. Результаты выполнения тестовых примеров EN ISO 10211

3.1 Пример №1.

1 Исходные данные для примера №1 по EN ISO 10211 приведены на рисунке 1а, а результаты расчета на рисунке 1б.

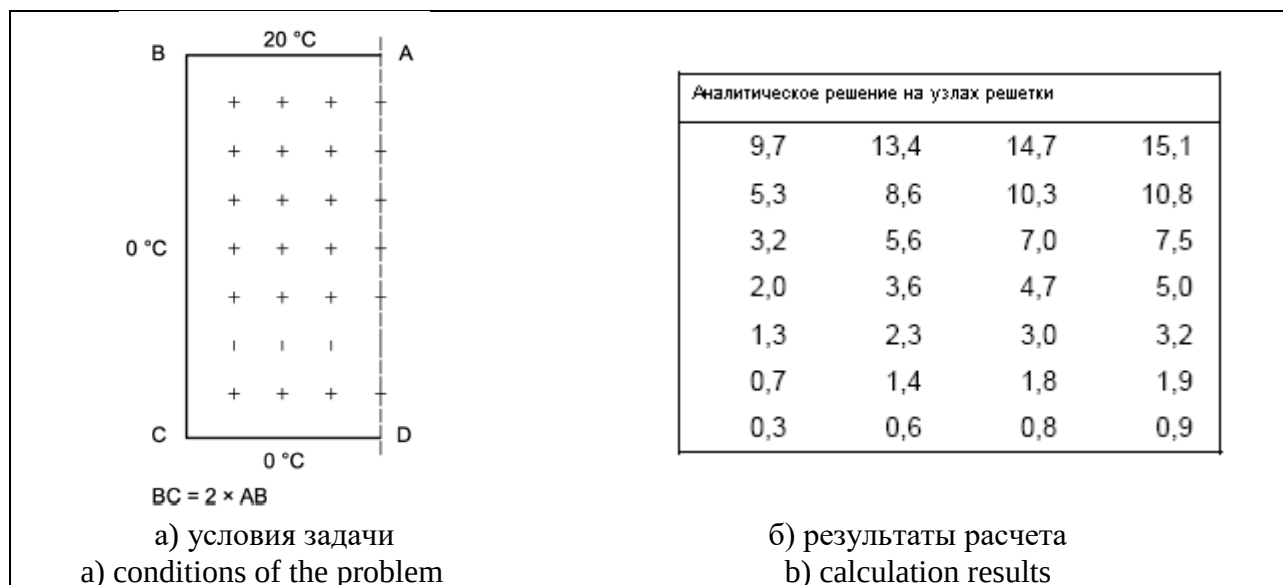


Рисунок 1 – Исходные данные и результаты примера №1 по EN ISO 10211

Figure 1 – Initial data and the results of Example 1 according to EN ISO 10211

Пример соответствует граничным условиям первого рода, когда на границе задана температура.

Здесь не важен коэффициент теплопроводности и теплоотдачи, так же не важны реальные размеры области. Значимым является значение температуры на границе и соотношение сторон области ($\frac{1}{2}$).

В таблице 1 приведено решение примера 1, полученное программой «Temper-3d», а также погрешность температуры для всех 28 точек.

Таблица 1 – Решение примера

Table 1 – Sample solution

Значения температуры в контрольных точках, °C								Погрешность «Temper-3d» относительно EN ISO 10211, °C			
Результаты EN ISO 10211				Результаты «Temper-3d»							
9,7	13,4	14,7	15,1	9,65	13,38	14,73	15,08	0,05	0,02	−0,03	0,02
5,3	8,6	10,3	10,8	5,24	8,64	10,31	10,81	0,06	−0,04	−0,01	−0,01
3,2	5,6	7	7,5	3,19	5,61	7,01	7,46	0,01	−0,01	−0,01	0,04
2	3,6	4,7	5	2,01	3,64	4,66	5	−0,01	−0,04	0,04	0
1,3	2,3	3	3,2	1,26	2,31	2,99	3,22	0,04	−0,01	0,01	−0,02
0,7	1,4	1,8	1,9	0,74	1,36	1,77	1,91	−0,04	0,04	0,03	−0,01
0.3	0.6	0.8	0.9	0.34	0.63	0.82	0.89	−0.04	−0.03	−0.02	0.01

Как видно из таблицы 1, погрешность значений температуры не превышает 0,1 °С, что соответствует требованиям EN ISO 10211. На рисунке 5 приведено температурное поле (повернуто).

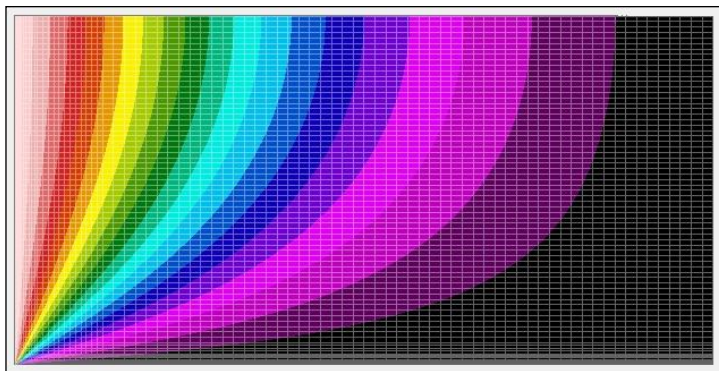


Рисунок 2 – Температурное поле, полученное «Temper-3d» (Пример № 1)

Figure 2 – Temperature field obtained by «Temper-3d» (Example No. 1)

3.2 Пример №2. Исходные данные для примера № 2 по EN ISO 10211 приведены на рисунке 3.

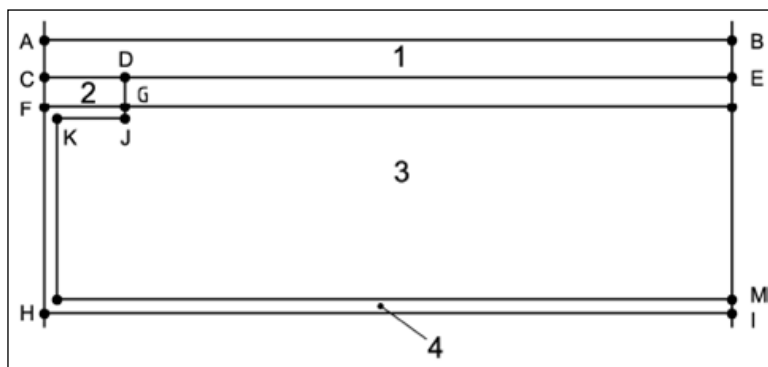


Рисунок 3 – Исходные данные примера №2 по EN ISO 10211:

1 – бетон, 2 – древесина, 3 – теплоизоляция, 4 – алюминий

Figure 3 – Initial data of Example 2 according to EN ISO 10211:

1 – concrete, 2 – wood, 3 – thermal insulation, 4 – aluminum

В таблице 2 приведено решение примера № 2, полученное программой «Temper-3d», а также погрешность температуры для всех контрольных точек.

Таблица 2 – Решение примера

Table 2 – Sample solution

Точка	Температура в точке по EN ISO 10211	x, мм	y, мм	Температура в точке по «Temper-3d»	Погрешность, °С
A	7,1	0	475	7,06	0,04
C	7,9	0	415	7,9	0
F	16,4	0	365	16,41	–0,01
H	16,8	0	0	16,77	0,03
D	6,3	150	415	6,27	0,03
G	16,3	150	365	16,33	–0,03
B	0,8	5000	475	0,76	0,04
E	0,8	5000	415	0,83	–0,03
I	18,3	5000	0	18,33	–0,03

Как, видно из таблицы 2, погрешность в контрольных точках не превышает $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$, что меньше требуемого значения EN ISO 10211 $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Тепловой поток, рассчитанный с применением программы «Temper-3d», составляет $0,094925\text{ Вт}$, на 10 мм толщины конструкции или $9,4925\text{ Вт/м}$. Отличие от значения теплового потока $9,5\text{ Вт/м}$ составляет менее 1% EN ISO 10211.

3.3 Пример №3. Исходные данные для примера № 3 по EN ISO 10211 приведены на рисунке 4.

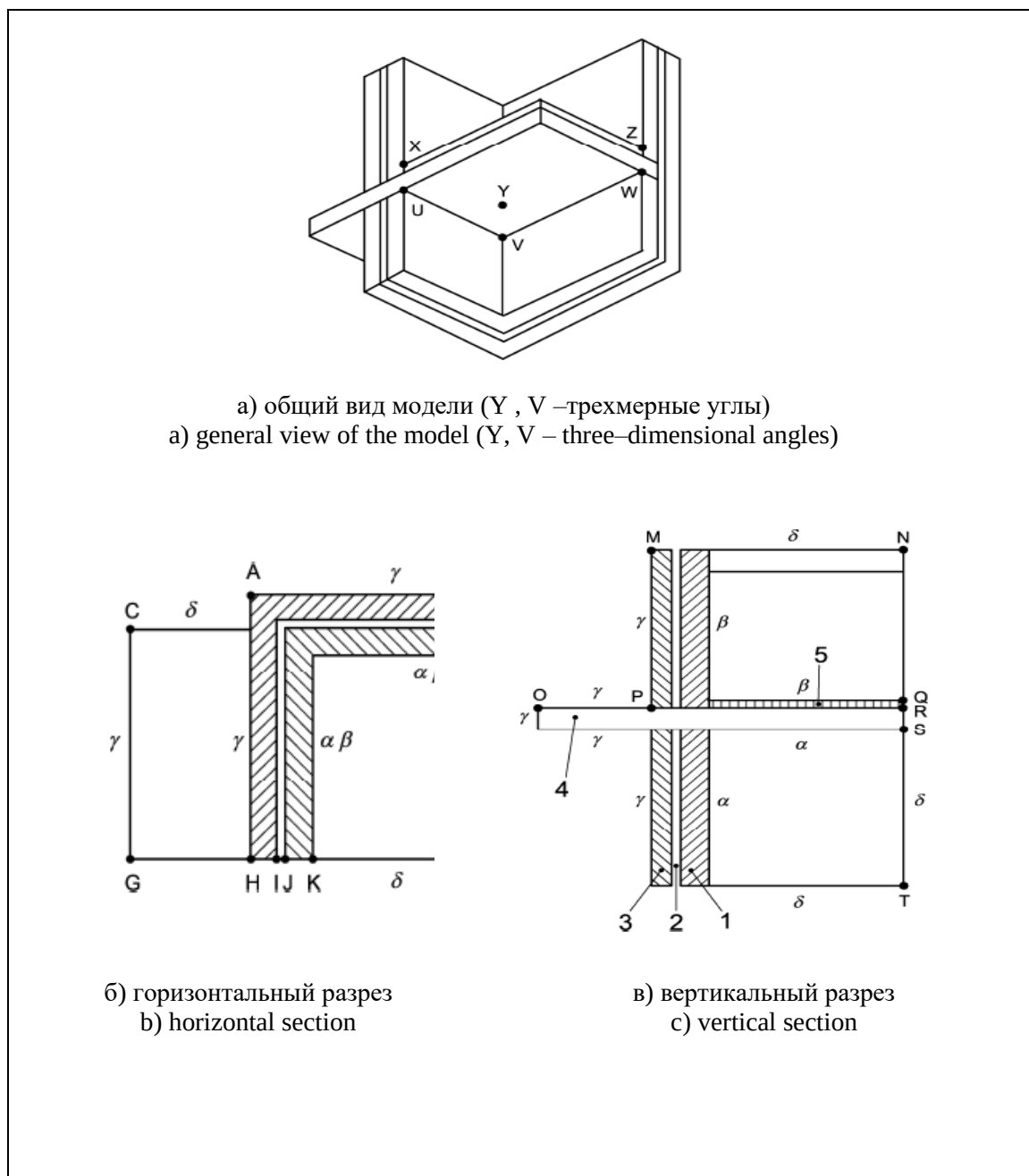


Рисунок 4 – Исходные данные и результаты примера № 3 по EN ISO 10211
Figure 4 – Initial data and the results of example No. 3 in accordance to EN ISO 10211

Температурное поле, полученное «Temper-3d», показано на рисунке 5. Температура в углах Y, V по EN ISO 10211 составляет $11,11\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $11,32\text{ }^{\circ}\text{C}$ соответственно, по программе «Temper-3d» полное совпадение.

Тепловой поток по EN ISO 10211 составляет 59,98 Вт, по программе «Temper-3d» 60,002 Вт, погрешность 0,07 %, что менее 1%.

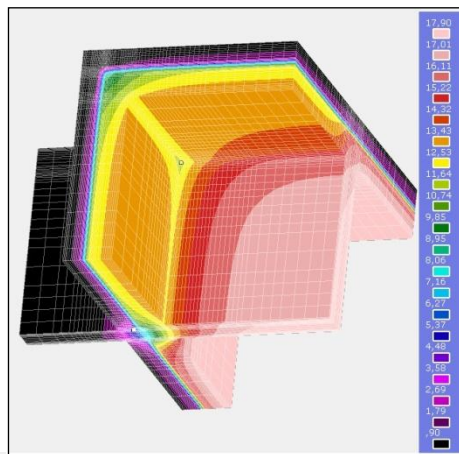


Рисунок 5 – Температурное поле, полученное «Temper-3d» для примера № 3
Figure 5 – Temperature field obtained by «Temper-3d» for example No. 3

3.4 Пример №4. Исходные данные для примера № 4 по EN ISO 10211 приведены на рисунке 6.

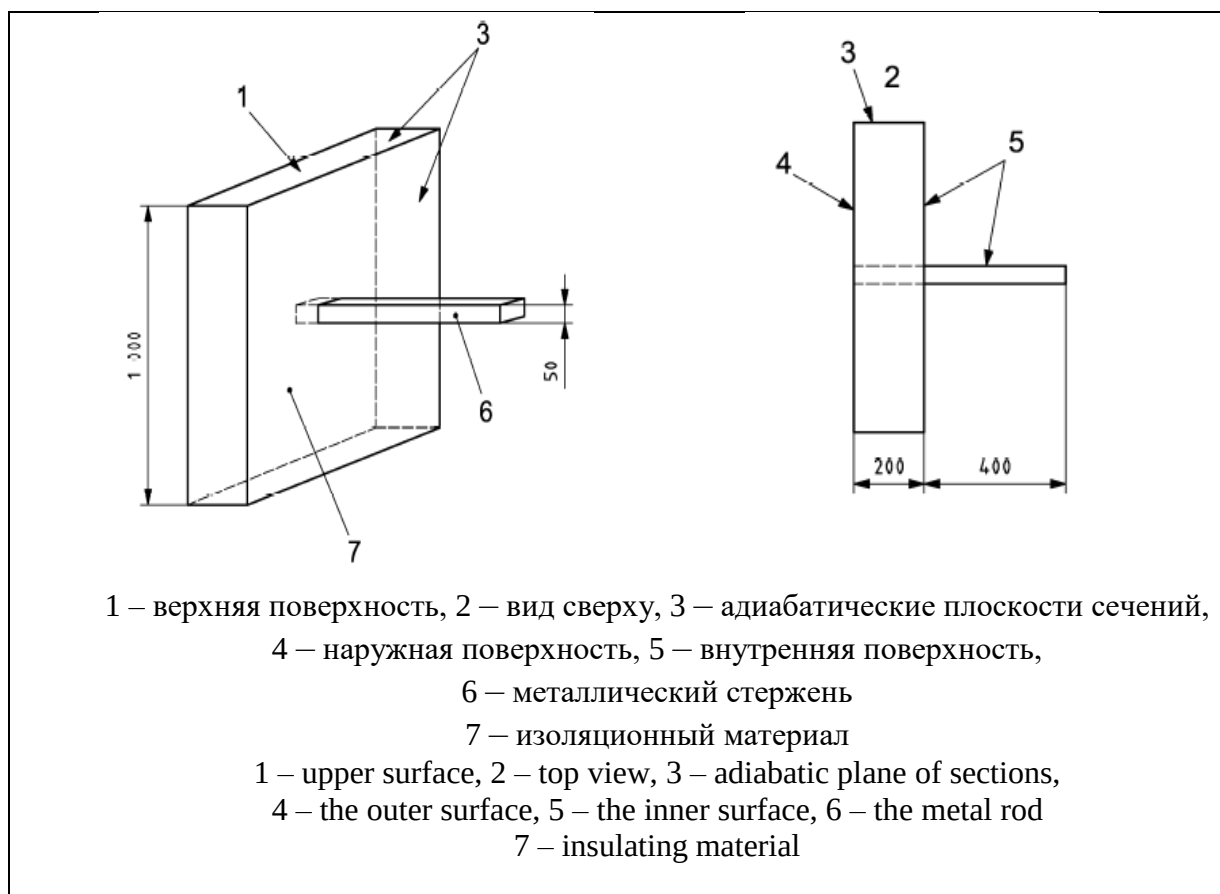


Рисунок 6 – Исходные данные по EN ISO 10211 для примера № 4
Figure 6 – Initial data for EN ISO 10211 for example No. 4

Соответствующее температурное поле показано на рисунке 7.

По результатам расчета примера с применением «Temper-3d» Максимальная температура наружной поверхности EN ISO 10211 0,805 °С, по программе «Temper-3d» температура 0,803 °С (отличие менее 0,05 °С).

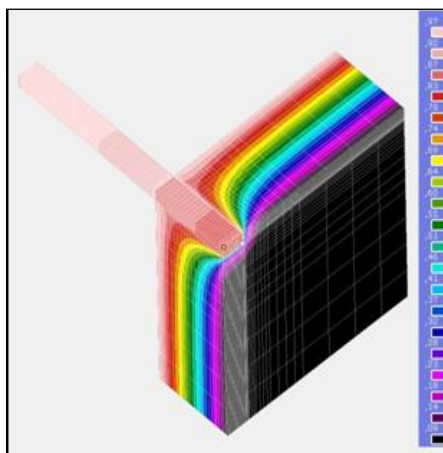


Рисунок 7 – Температурное поле, полученное «Temper – 3d» для примера № 4
Figure 7 – Temperature field obtained by «Temper – 3d» for example No.4

4. Пример расчета реальной ограждающей конструкции

Произведем расчет ограждающей конструкции многоэтажного жилого здания. В качестве расчетной области выбрана $\frac{1}{4}$ ограждающей конструкции, учтены также часть перекрытия и перегородки.

Выделение расчетной области производилось по осям симметрии, выступающие части перекрытия и перегородки не менее 5 толщин.

Наружная стена общей толщиной 500 мм, с теплоизоляционным слоем из пенобетона толщиной 250 мм, и пенополистирола толщиной 120 мм. Снаружи стена облицована кирпичом 120 мм, изнутри – отделочный штукатурный слой толщиной 10 мм.

Окно с двухкамерным стеклопакетом толщиной 32 мм с приведенным сопротивлением теплопередаче $0,55 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$. Профиль толщиной 90 мм с приведенным сопротивлением теплопередаче $0,84 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$.

Температура наружного воздуха $-37 \text{ } ^\circ\text{C}$. Температура внутреннего воздуха $20 \text{ } ^\circ\text{C}$. Район строительства г. Омск.

На рисунке 8 приведены коэффициенты теплопроводности используемых материалов модели узла, всего использовано 1123 конечных макроэлементов. На рисунке 9 приведено температурное поле ограждающей конструкции 18806 конечных элементов.

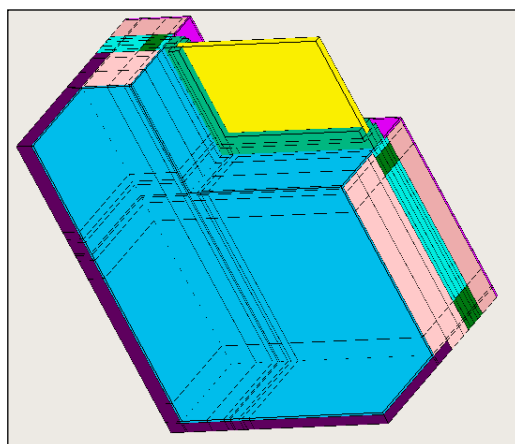


Рисунок 8 – Расчетная область
Figure 8 – Calculation area

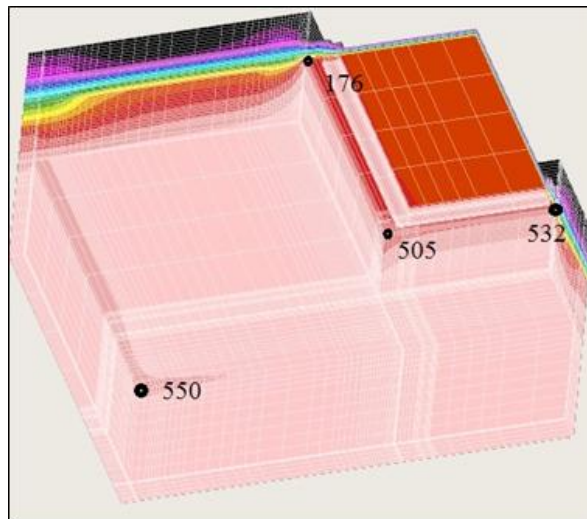


Рисунок 9 – Температурное поле
Figure 9 – Temperature field

Для корректного результата расчет необходимо провести 2 раза (второй раз с удвоением количества конечных элементов в два раза по каждой координате получится $18806 \times 2 \times 2 = 150448$ конечных элементов). Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчет
Table 2 – Calculation

№ расчета	Кол-во КЭ	Дисбаланс тепловых потоков ΔQ , %	R_0 , ($\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})/\text{Вт}$	Q, Вт
1	27072	$-3,490\text{E}-06$	1,6528	98,1789826
2	216576	$-3,430\text{E}-06$	1,6598	98,0099991
Отличие, %			-0,424	0,172

Для проверки корректности расчетов по условию № 2 необходимо произвести расчет f_{Rsi} для двух точек. Результаты расчетов для 4 точек сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчетов
Table 3 – Calculations results

№	Nu	t_1 , $^\circ\text{C}$	f_{Rsi}	t_2 , $^\circ\text{C}$	f_{Rsi}	Δf_{Rsi}
1	505	10,84	0,8393	10,87	0,8398	-0,0005
2	176	12,65	0,8711	12,78	0,8733	-0,0023
3	532	12,7	0,8719	12,84	0,8744	-0,0025
4	550	15,91	0,9282	15,84	0,9270	0,0012

где:

Nu – номер узла (рисунок 9);

t_1 , $^\circ\text{C}$ – температура в узле (расчет № 1);

$t_2, ^\circ\text{C}$ – температура в узле (расчет № 2);

f_{Rsi} – температурный коэффициент внутренней поверхности в узле;

Δf_{Rsi} – изменение f_{Rsi} при первом и втором расчете.

Анализируя результаты расчетов, можно сделать вывод, что он соответствует нормам [13]:

1) Погрешность тепловых потоков при удвоении количества конечных элементов не превышает 1 % (0,172%) (Условие № 1).

2) Изменение температурного коэффициента внутренней поверхности для четырех точек f_{Rsi} не более, чем на 0,005 (таблица 2, столбец Δf_{Rsi}) (Условие № 2).

3) Погрешность входящих и выходящих тепловых потоков не превышает 0,01% (таблица 2 ΔQ) (Условие № 3).

Наименьшая температура внутренней поверхности (узел № 505) составляет 10,84 °C, что выше точки росы (10,69 °C), однако $R_0=1,66, (\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})/\text{Вт}$, не соответствует нормативным требованиям ($R_{0\text{мин}}=2,184 (\text{м}^2 \times ^\circ\text{C})/\text{Вт}$ для г. Омска) [2, 3].

6. Рекомендации по проведению расчета

В используемых в настоящее время нормативных документах для расчета ограждающих конструкция МКЭ рассматривается вопрос о корректности расчета всей ограждающей конструкции, включая внутренние точки только с точки зрения интегральных характеристик, таких как, например, входящий и выходящий тепловые потоки.

Вопрос о погрешности расчета температурных полей для точек, не принадлежащих внутренней поверхности ограждающей конструкции, EN ISO 10211 не регламентирован.

В этой связи рекомендуется следующий алгоритм проведения расчета температурного поля и теплового потока через узел ограждающей конструкции с помощью программы «Temper –3d»:

1) Произвести расчет с автоматической дискретизацией на конечные элементы ограждающей конструкции, при этом в программе устанавливаются искажения 1,5 °C, и убедиться, что погрешность входящих и выходящих потоков не превышает 0,01%. Данный параметр указан в файле *.nmn (Условие 3).

2) Произвести повторный расчет ограждающей конструкции, измельчив конечно-элементную сеть в 2 раза в по каждой координате. В случае трехмерного расчета количество конечных элементов увеличится в $2 \times 2 \times 2 = 8$ раз.

3) Сравнить значения тепловых потоков и убедиться, что при измельчении сети в два раза по каждой координатной оси изменение теплового потока не превышает 1% (Условие 1).

4) Произвести расчет температурного коэффициента внутренней поверхности, используя в качестве расчетных узлов точки на внутренней поверхности. В этом случае отличие коэффициента не должно превышать 0,005 для любой точки принадлежащей внутренней поверхности. Например, если температура внутреннего воздуха 20 °C, а наружного –30 °C, то разница температур в точках на внутренней поверхности не должна превышать 0,25 °C при измельчении конечно-элементной сети в два раза по каждой координатной оси (Условие 2).

5) Если выполнены условия 1, 3 и 4, то результатами расчета можно воспользоваться, в противном случае, необходима более мелкая дискретизация, для этого надо повторить все с пункта №1, при этом установив меньшее значение параметра искажения, например, 1 °C, и так далее, пока не будут выполнены все 3 условия корректности. На рисунке 10 приведена панель настройки для расчетов. С ее помощью можно установить требуемые искажения, параметр измельчения и произвести дополнительное измельчение конечно-элементной сети для проведения контрольного расчета.

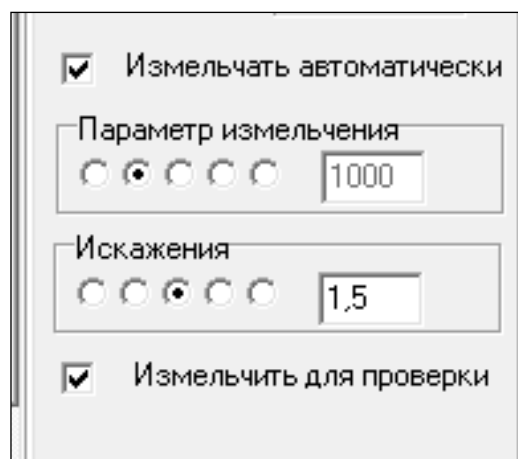


Рисунок 10 – Панель настройки для проведения расчетов
Figure 10 – Configuration panel for calculations

Считать расчет корректным, если искажения менее, например, 1°C не соответствует нормативным требованиям EN ISO 10211, этот параметр используется только для автоматической генерации рациональной конечно-элементной сети.

Заключение

1) При выполнении теплотехнического расчета ограждающей конструкции с применением результатов расчета температурных полей и тепловых потоков узлов необходимо использовать программные продукты, удовлетворяющие требованиям EN ISO 10211. Для этого необходимо убедиться в наличии валидации тестовым примерам EN ISO 10211.

2) Теплотехнический расчет ограждающей конструкции считается корректным, если выполнены 3 условия EN ISO 10211.

3) Программа Temper-3d соответствует требованиям EN ISO 10211, так как результаты выполненных с применением «Temper-3d» тестовых задач обеспечивают установленную стандартом точность.

Список литературы / References

1. СП 50.13330.2012 *Тепловая защита зданий*. Москва: Госстрой России, 2013. [SP 50.13330.2012 *Teplovaya zashchita zdaniy*. Moskva: Gosstroj, Rossii 2013. (in Russian)].
2. СП 1325800.2015 *Конструкции ограждающие зданий. Характеристики теплотехнических неоднородностей*. Москва: Госстрой России, 2015. [SP 1325800.2015 *Konstrukcii ograzhdayushchie zdaniy. Harakteristiki teplotekhnicheskikh neodnorodnostej*. Moskva: Gosstroj Rossii, 2015. (in Russian)].
3. СП 23–101–2004. *Проектирование тепловой защиты зданий*. Москва: Госстрой России, 2004. [SP 23–101–2004. *Proektirovanie teplovoj zashchity zdaniy*. Moskva: Gosstroj Rossii, 2004. (in Russian)].
4. Лыков А.В. *Тепломассобмен*. Москва: Энергия, 1978. [Lykov A. V. *Teplomassobmen*. Moskva: Ehnergiya, 1978. (in Russian)].
5. Лыков А.В. *Теория теплопроводности*. Москва: Высшая школа, 1967. [Lykov A.V. *Teoriya teploprovodnosti*. Moskva: Vysshaya shkola, 1967. (in Russian)].
6. Зенкевич О. *Метод конечных элементов в технике*. Москва: Мир, 1975. [Zenkevich O. *Metod konechnyh ehlementov v tekhnike*. Moskva: Mir, 1975. (in Russian)].
7. Шибиркина М.С. Определение теплотерь узла сопряжения оконной рамы со стеной при замене устаревшей конструкции оконных блоков на современные. *Вестник МГСУ*, 2015. [Shibirкина M.S. *Opreделение teplopoter' uzla sopryazheniya okonnoy ramy so stenoj pri zamene ustarevshej konstrukcii okonnykh blokov na sovremennyye*. *Vestnik MGSU*, 2015. (in Russian)].

8. Елдашов Ю.А., Кашеварова Г.Г. Сравнительный анализ вариантов конструкции узла примыкания оконного блока к стеновому проему методом конечных элементов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета*, 2007. [Eldashov YU. A., Kashevarova G. G. Sravnitel'nyj analiz variantov konstrukcii uzla primykaniya okonnogo bloka k stenovomu proemu metodom konechnyh ehlementov. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta*, 2007. (in Russian)].
9. Ананьин М.Ю., Ведищева Ю.С.. Многофакторное численное исследование теплотехнических свойств сэндвич-панелей вертикальной разрезки. *Академический вестник УралНИИ-проект РААСН*, 2012. [Anan'in M.Yu., Vedishcheva Yu.S. Mnogofaktornoe chislennoe issledovanie teplo-tekhnicheskikh svojstv sehndvich-panelej vertikal'noj razrezki. *Akademicheskij vestnik Ural-NIIproekt RAASN*, 2012. (in Russian)].
10. Лешкевич В.В. Расчет температурного поля и приведенного сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций зданий с помощью метода конечных элементов. *Системный анализ и прикладная информатика*, 2015. [Leshkevich V.V. Raschet temperaturnogo polya i privedennoego soprotivleniya teplope-redache ograzhdayushchih konstrukcij zdaniy s pomoshch'yu metoda konechnyh ehlementov. *Sistemnyj analiz i prikladnaya informatika*, 2015. (in Russian)].
11. Нестеров Л.В., Крутилин А.Б. К вопросу расчета сопротивления теплопередачи современных конструкций наружных стен зданий. *Энергетика: Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ*, 2007. [Nesterov L. V., Krutilin A. B. K voprosu rascheta soprotivleniya teploperedachi sovremennyh konstrukcij naruzhnyh sten zdaniy. *EHnergetika: Izvestiya vysshih uchebnyh zave-denij i ehnergeticheskikh ob"edinenij SNG*, 2007. (in Russian)].
12. Пономарев А.Б., Сурсанов Д.Н. Определение приведенного сопротивления теплопередаче самонесущей стеновой панели. *Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура*, 2015. [Ponomarev A.B., Sursanov D.N. Opredelenie privedennoego soprotivleniya teploperedache samonesushchej stenovoj paneli. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arhitektura*. 2015. (in Russian)].
13. EN ISO 10211:2007 *Тепловые мосты в зданиях. Тепловые потоки и температура поверхности. Подробные расчеты*. Авеню Марниш 17, В-1000 Брюссель, 2009. [EN ISO 10211:2007 *Teplovyje mostiki v zdaniyah. Teplovyje potoki i temperatura poverhnosti. Podrobnnye raschety*. Avenyu Marnix 17, B-1000 Bryussel', 2009 (in Russian)].
14. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ (ред. от 02.07.2013) «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». [Federal'nyj zakon ot 30.12.2009 No.384-FZ (red. ot 02.07.2013) «Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij». (in Russian)].
15. ГОСТ Р ИСО 9127–94 Государственный Стандарт Российской Федерации «Системы обработки информации»; введ. 01.07.1995. [GOST R ISO 9127–94 Gosudarstvennyj Standart Rossijskoj Federacii «Sistemy obrabotki informacii»; vved. 01.07.1995. (in Russian)].
16. ГОСТ Р ИСО/МЭК 12119–2000 Государственный Стандарт Российской Федерации «Пакеты программ»; введ. 01.01.2002. [GOST R ISO/MEHK 12119–2000 Gosudarstvennyj Standart Rossijskoj Federacii «Pakety programm»; vved. 01.01.2002. (in Russian)].
17. Федеральный закон Технический регламент о безопасности зданий и сооружений (с изменениями на 2 июля 2013 года). Москва: Кремль, 2013. [Tekhnicheskij reglament o bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij (s izmeneniyami na 2 iyulya 2013 goda). Moskva: Kreml', 2013. (in Russian)].
18. Теплотехнические расчеты в «Temper-3d». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.temper3d.ru>. (дата обращения 07.02.16). [Teplotekhnicheskie raschety v «Temper-3d». [Electronic resource]. URL: <http://www.temper3d.ru>. (accessed 07.02.16). (in Russian)].
19. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ. №2006610359, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20.01.2006; заявка № 2005613080. [Svidetel'stvo ob oficial'noj registracii programm dlya EHVM. No.2006610359, zaregistrirovano v Reestre programm dlya EHVM 20.01.2006; zayavka No. 2005613080. (in Russian)].

20. Федоров С. В. Клиент–серверные расчеты по e-mail. *Прикладная математика и фундаментальная информатика*. 2016. С.204–207. [Fedorov S. V. Klient–servernye raschety po e-mail. *Prikladnaya matematika i fundamental'naya informatika*. 2016. P.204–207. (in Russian)].

Сведения об авторах

Федоров Сергей Витальевич, кандидат технических наук, доцент, Омский государственный технический университет, кафедра «Прикладная математика и фундаментальная информатика», 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, temper99@mail.ru.

Терехова Ирина Анатольевна, кандидат технических наук, доцент, Государственное предприятие «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С.С.», ул. Ф. Скорины 15, Минск 220114, Беларусь, ira.irter@yandex.ru.

Fedorov Sergey Vitalyevich, PhD, the Omsk State Technical University, «Applied Mathematics and Fundamental Informatics» department, 644050, Omsk, Mira Ave., 11, temper99@mail.ru.

Terekhova Irina Anatolyevna, PhD, State enterprise «Institute of the Dwelling – NIPTIS of Atayev S. S.», F. Skorina St. 15, Minsk 220114, Belarus, ira.irter@yandex.ru.