

УДК 693.9: 004

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОМ РАСЧЕТЕ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

Д.П. Халимов

Показано использование информационных технологий при теплотехническом расчете ограждающих конструкций зданий.

Ключевые слова: многослойная ограждающая конструкция; тепловой поток; термическое сопротивление; прямая и обратная задача; утеплитель.

USING INFORMATION TECHNOLOGY ON HEAT TECHNICAL CALCULATIONS OF BUILDING'S ENVELOPE

D.P. Khalimov

The article shows the using information technology on heat technical calculations of building's envelope.

Keywords: multipart building's envelope; heating flow; thermal resistance; direct and inverse problems; insulator.

Решение большинства расчетных инженерных задач в строительстве заключается в нахождении взаимосвязей между различными параметрами, характеризующими те или иные рассматриваемые явления, процессы или задачи. Задача теплотехнического расчета ограждающих конструкций заключается в нахождении общего фактического термического сопротивления стены и затем ее сравнения с нормативной или расчетной, которую должна иметь стена, чтобы обеспечить внутри помещения комфортный микроклимат или температуру.

Расчетные формулы, используемые при теплотехническом расчете стен для нахождения общего фактического термического сопротивления стены, устанавливают взаимосвязь ее общего термического сопротивления стены $R_{общ}$ с толщинами δ_i или X_i отдельных слоев материалов ограждающей конструкции или стены. Математически это можно выразить как:

$$R_{общ} = f(X_1, X_2, X_3 \dots X_i), \quad (1)$$

где $R_{общ}$ – общее фактическое термическое сопротивление стены; $X_1, X_2, X_3, \dots X_i$ – толщина слоя 1, 2, 3 ... i -го материала стены.

При этом термическое сопротивление стены $R_{общ}$ должно быть равно или больше требуемой R_{req} , которое определяется климатическими характеристиками района строительства.

В строительной теплотехнике существует два типа задач, а именно:

1) прямая задача, где заданы материалы и величины толщины слоев стены $X_1, X_2, X_3, \dots X_i$ и по этим известным параметрам находится величина общего сопротивления стены $R_{общ}$;

2) обратная задача, где задано требуемое R_{req} , и надо так принять толщину стены $X_1, X_2, X_3, \dots X_i$, чтобы ее общее сопротивление $R_{общ}$ было равно или немного больше R_{req} .

При теплотехническом расчете в практике проектирования как правило встречается вторая задача, когда по известному требуемому R_{req} , определяемому по СНиП [1], надо найти материал и толщину слоев утеплителя. Величина R_{req} определяется по [1] на основании нахождения показателя градусо-суток отопительного периода (ГСОП).

Согласно СНиП, показатель ГСОП определяют по формуле

$$D_d = (t_{int} - t_{ht}) * Z_{ht}, \quad (2)$$

где D_d – градусо-сутки (или degree days) отопительного периода; t_{int} – расчетная средняя температура внутреннего воздуха помещения или здания, принимается по таблице 1 [2]; t_{ht} – средняя температура наружного воздуха за отопительный период; принимается по [3]; Z_{ht} – продолжительность отопительного периода в сутках, принимается согласно [3].

Примем следующую конструктивную схему стены:

	A	B	C	D	E	F
1	Таблица 1. Определение $R_{обш}$ стены при толщине утеплителя 5 см					
2	№слоя	Среда или материал слоя	δ_m	коэффициент		R_i
3				α	λ	
4	0	внутренний воздух	1	8.7		0.115
5	1	песчано-известковый раствор	0.005		0.47	0.011
6	2	кирпич силикатный	0.375		0.7	0.536
7	3	пенополистирол	0.05		0.031	1.613
8	4	цементно-песчаный раствор	0.01		0.58	0.017
9	0	наружный воздух	1	23		0.043
10		Всего $R_{обш}$				2.335

Рисунок 1 – Расчет $R_{обш}$ при кладке 1,5 кирпича и $\delta_{ут} = 5$ см

	A	B	C	D	E	F
1						
2	№слоя	Среда или материал слоя	δ_m	коэффициенты		$R_{обш}$
3				α	λ	
4	0	внутренний воздух	1	8.7		=ОКРУГЛ(C4/D4;3)
5	1	песчано-известковый раствор	0.005		0.47	=ОКРУГЛ(C5/E5;3)
6	2	кирпич силикатный	0.375		0.7	=ОКРУГЛ(C6/E6;3)
7	3	пенополистирол	0.05		0.031	=ОКРУГЛ(C7/E7;3)
8	4	цементно-песчаный раствор	0.01		0.58	=ОКРУГЛ(C8/E8;3)
9	0	наружный воздух	1	23		=ОКРУГЛ(C9/D9;3)
10						=СУММ(F4:F9)

Рисунок 2 – Расчетные формулы, использованные в таблице 1

- 1) внутренняя штукатурка – известково-песчаный раствор, толщина 0,5 см;
- 2) кирпичная кладка 1,5 кирпича – силикатный кирпич, толщина слоя 37,5 см;
- 3) пенополистирол (ГОСТ 15588), толщина 5 см;
- 4) наружная штукатурка – цементно-песчаный раствор, толщина 1 см.

Фактическое общее термическое сопротивление четырехслойной стены находится по формуле [4]:

$$R_{обш} = \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{x_{ут}}{\lambda_{ут}} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_2} \right), \quad (3)$$

где – полное или общее термическое сопротивление стены, $m^2 \cdot C / Вт$; α_1 – коэффициент теплопроводности, принимается равным 8,7; α_2 – коэффициент теплоотдачи, принимается равным 23; δ_1 , δ_2 , $x_{ут}$, δ_4 – соответственно толщина внутренней штукатурки, кирпича, утеплителя, наружной штукатурки; величины δ_1 , δ_2 , δ_4 принимаются конструктивно, кроме неизвестной величины $x_{ут}$, которую следует определить из уравнения (3); $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_{ут}, \lambda_4$ – соответственно коэффициент теплопроводности

внутренней штукатурки, кирпича, утеплителя, наружной штукатурки, принимается по [2].

Выражение (3) это некоторая функциональная зависимость типа $y=f(x)$. Здесь значение функции y или $R_{обш}$ известно, и надо найти значение аргумента $x_{ут}$. Такие задача можно решать методом подбора толщины утеплителя таким образом, чтобы полученное $R_{обш}$ было не меньше установленных по СНиП значений R_{req} .

Для принятой нами конструкции стены найдем фактическое сопротивление теплопередаче $R_{обш}$. Расчеты приведены в таблице 1 (рисунки 1, 2).

Примем, что согласно [1] требуемое термическое сопротивление стены должно быть $R_{req} = 2,5 m^2 \cdot C / Вт$. По нашему расчету по рисунку 1 видно, что при принятой толщине утеплителя 5 см стена имеет фактическое сопротивление $R_{обш} = 2,335$, которое меньше $R_{req} = 2,5$, следовательно, требование СНиП не выполнено.

Для выполнения требований СНиП надо изменить толщину утеплителя. При этом надо принять толщину утеплителя такой, чтобы $R_{обш}$ было не меньше $2,5 m^2 \cdot C / Вт$. Мы имеем обратную задачу – когда по уже известному или требуемому

	A	B	C	D	E	F
1	Таблица 1. Определение Rобщ стены при толщине утеплителя δ м					
2	№слоя	Среда или материал слоя	δм	коэффициент		Ri
3				α	λ	
4	0	внутренний воздух	1	8.7		0.115
5	1	песчано-известковый раствор	0.005		0.47	0.011
6	2	кирпич силикатный	0.375		0.7	0.536
7	3	пенополистирол	0.05		0.031	1.613
8	4	цементно-песчаный раствор	0.01		0.58	0.017
9	0	наружный воздух	1	23		0.043
10	Всего Rобщ					2.335

Подбор параметра

Установить в ячейке: F10

Значение: 2.5

Изменяя значение ячейки: \$C\$7

OK Отмена

Рисунок 3 – Использование опции “Подбор параметра” для нахождения требуемой толщины $x_{ут}$

	A	B	C	D	E	F	G
1	Таблица 1. Определение общего термического сопротивления стены при толщине утеплителя 5 см						
2	№слоя	Среда или материал слоя	Толщина слоя δм	Кoeffициент		Rобщ	
3				α	λ		
4	0	внутренний воздух	1	8.7		0.115	
5	1	песчано-известковый раствор	0.005		0.47	0.011	
6	2	кирпич силикатный	0.375		0.7	0.536	
7	3	пенополистирол	0.05515625		0.031	1.779	
8	4	цементно-песчаный раствор	0.01		0.58	0.017	
9	0	наружный воздух	1	23		0.043	
10						2.501	

Результат подбора параметра

Подбор параметра для ячейки F10. Решение найдено.

Подбираемое значение: 2.5

Текущее значение: 2.501

OK Отмена

Рисунок 4 – Результат работ команды Excel “Подбор параметра” для нахождения требуемой толщины $x_{ут}$

значению функции (R_{req} , не станет равен или больше требуемого, у нас эт = 2,5) надо подобрать такой аргумент (толщину утеплителя $\delta м$), чтобы функция или формула (3) была $\geq R_{req}$.

Такие обратные задачи, когда известен результат, который требуется вычислить при помощи формулы, но неизвестны значения, которые необходимо ввести в формулу для получения этого результата, можно решать опцией Excel “Подбор параметра”. С его помощью можно изменять

толщину утеплителя $x_{ут}$ до тех пор, пока значение в ячейке Excel, где вычисляется $R_{общ}$, не станет равен или больше требуемого, у нас это $R_{req} = 2,5$.

На вкладке Excel 2007 **Данные** в группе **Работа с данными** выбираем команду **Анализ “что-если”**, а затем в списке пункт **Подбор параметра** появится диалоговое окно “Подбор параметра” (рисунки 3, 4) [5].

На рисунке 3 цветом выделены ячейки, используемые в программе. В поле **Установить в ячейке**

	A	B	C	D	E	F
1	Таблица 1. Определение $R_{общ}$ стены при толщине утеплителя 6 см					
2	№слоя	Среда или	δм	коэффициент		Ri
3		материал слоя		α	λ	
4	0	внутренний воздух	1	8.7		0.115
5	1	песчано-известковый раствор	0.005		0.47	0.011
6	2	кирпич силикатный	0.375		0.7	0.536
7	3	пенополистирол	0.06		0.031	1.935
8	4	цементно-песчаный раствор	0.01		0.58	0.017
9	0	наружный воздух	1	23		0.043
10		Всего $R_{общ}$				2.657

Рисунок 5 – Определение $R_{>II}$ при кладке 1,5 кирпича и дут = 6 см

	A	B	C	D	E	F
1	Таблица 1. Определение $R_{общ}$ стены при толщине утеплителя δ м					
2	№слоя	Среда или	δм	коэффициент		Ri
3		материал слоя		α	λ	
4	0	внутренний воздух	1	8.7		0.115
5	1	песчано-известковый раствор	0.005		0.47	0.011
6	2	кирпич силикатный	0.25		0.7	0.357
7	3	пенополистирол	0.07		0.031	2.258
8	4	цементно-песчаный раствор	0.005		0.58	0.009
9	0	наружный воздух	1	23		0.043
10		Всего $R_{общ}$				2.793

Рисунок 6 – $R_{общ}$ при кладке 1 кирпич и дут = 7 см

вводим ссылку на ячейку, содержащую необходимую формулу (формула, совокупность значений, ссылок на другие ячейки, именованных объектов, функций и операторов, позволяющая получить новое значение. Формула всегда начинается со знака равенства (=) (3). В данном примере это ячейка F10.

1. Вводим искомый результат в поле **Значение**. (В нашем примере это величина $R_{req}=2.5$.)

2. В поле **Изменяя значение ячейки** вводим ссылку на ячейку, значение которой нужно найти методом подбора. (В данном примере это ячейка C7 – выделена цветом).

Заполнив диалоговое окно Подбор параметра, запускаем команду на выполнение и получаем необходимую величину или толщину утеплителя (ячейка C7 – выделена цветом).

В результате работы программы Excel получается следующая толщина, приведенная на рисунке 3, где толщина утеплителя найдена как $\approx 0,5515625$ м. Округляем толщину слоя утеплителя до 6 см = 0,06

м, и уточняем величину фактического сопротивления $R_{общ}$. В результате получим, что при толщине утеплителя 6 см, $R_{общ} = 2.657$ м²·С/Вт, т. е. получили $R_{общ} > R_{req}$, что удовлетворяет требования СНиП (рисунок 5).

На практике толщина материала утеплителя, как правило, стандартизирована до целых см, например, как 5; 6; 7; 8; 10 см и при округлении найденной толщины утеплителя до стандартной, найденные по формулам $R_{общ}$, могут немного отличаться от R_{req} в ту или иную сторону.

Чтобы добиться требуемого соотношения между $R_{общ}$ и R_{req} , можно произвести следующие действия:

1) изменить тип утеплителя и изменится коэффициент теплопроводности λ;

2) изменить толщину или материал остальных слоев стены.

Эти изменения принимаются исходя из технико-экономической целесообразности принимаемых проектных решений. Например, можно для нашей

4-слойной стены принять следующую конструкцию:

- 1) внутренняя штукатурка – известково-песчаный раствор, толщина 0,5 см;
- 2) кирпичная кладка 1 кирпич – силикатный кирпич, толщина слоя 25 см;
- 3) пенополистирол (ГОСТ 15588), толщина 7 см;
- 4) наружная штукатурка – цементно-песчаный раствор, толщина 0,5 см.

Для данной конструкции $R_{\text{общ}} = 2.793 \text{ м}^2 \cdot \text{С/Вт}$ (рисунок 6).

Таким образом, можно очень легко и быстро просмотреть различные схемы ограждающих конструкций стен и выбрать наиболее оптимальный и приемлемый вариант.

При рассмотрении нескольких вариантов конструкций стен использование компьютерных технологий очень удобно тем, что все эти расчеты, вызванные изменениями типов материалов стен, утеплителя, их толщины, или коэффициентов теплопроводности производятся очень легко и быстро с помощью опции “Подбор параметра”.

Таким образом, использование опции Excel “Подбор параметра” позволяет ускорить теплотехнические расчеты при проектировании и расчете различных ограждающих конструкций стен, которые могут отличаться материалами несущих и за-

щитных покрытий стен (кирпич, стеновые панели, тип штукатурки) и типом и толщиной утеплителя (минвата, пенополистирол и др.) за счет многократного использования созданного в Excel шаблона для теплотехнического расчета стен, только меняя входные параметры материалов стен и утеплителя. Использование таблиц Excel также визуализирует проводимые расчеты, что значительно упрощает и облегчает работу проектировщиков, делая проводимые ими расчеты наглядными и интуитивно понятными.

Литература

1. СНиП КР 23-01:2009 Строительная теплотехника (тепловая защита зданий). Бишкек: Госагентство по арх. и стр. при Правительстве КР, 2009.
2. СП КР 23-101:2009 Проектирование тепловой защиты зданий. Бишкек: Госагентство по арх. и стр. при Правительстве КР, 2009.
3. СНиП КР 23-02-00 Строительная климатология. Бишкек: Госагентство по арх. и стр. при Правительстве КР, 2000.
4. *Тихомиров К.В.* Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция / К.В. Тихомиров М.: Стройиздат, 1981. 268 с.
5. *Гарнаев А.Ю.* Использование MS Excel и VBA в экономике и финансах / А.Ю. Гарнаев. СПб.: БХВ 2000. 336 с.