

УДК 69:53:721.01

А.А. КУДИНОВ, д.т.н., профессор, профессор (СамГТУ)
С.К. ЗИГАНШИНА, д.т.н., доцент, профессор (СамГТУ)
Е.А. КУДИНОВ, студент гр. 1-ТЭФ-25ТЭФ-102 (СамГТУ)
г. Самара

ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ МНОГОСЛОЙНЫХ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ ПРИ УСЛОВИИ ВАРЬИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Введение. При проектировании современных зданий требуется исследование процессов теплопередачи и влажностного режима многослойных наружных ограждений. Умение пользоваться соответствующими расчетами дает возможность проектировщику обеспечивать требуемые теплотехнические качества наружных ограждений и минимальную мощность системы отопления здания [1, 2]. Выполнены теплотехнические расчеты наружных многослойных ограждающих конструкций и тепловой мощности системы отопления помещений жилого здания. Рассмотрены варианты и дана оценка варьирования параметров тепловой изоляции на изменения полей температур, парциальных давлений водяного пара в наружных ограждениях и мощности системы отопления помещений здания.

Методика проведения исследований

На первом этапе формируются теплозащитные свойства наружных ограждений. Задачей расчетов является определение фактического сопротивления теплопередаче ограждения R_0^{ϕ} [3]. По R_0^{ϕ} и заданным граничным условиям рассчитывают температурные поля в различных элементах ограждения [4, 5].

На втором этапе выполняют анализ влажностного режима ограждения. Расчеты проводятся исходя из стационарного состояния с учетом только диффузии водяного пара через ограждение при условии $t_n = t_{x.m}$ [3, 6].

На третьем этапе исследования определяется тепловая мощность системы отопления здания и производится расчет поверхностей нагрева отопительных приборов по методикам [4, 7] и СНиП 41-01-2003.

Результаты исследований. Решение задачи распределения температуры в многослойной стенке производилось при граничных условиях 4-го рода, в соответствии с которыми выполняется равенство температур и тепловых потоков на поверхностях соприкасающихся слоев (рассматривается идеальный тепловой контакт). Результаты численных расчетов температурных полей в сечении многослойного ограждения приведены в таблицах 1, 2, 3, а парциальных давлений водяного пара – в таблице 4. В таблице 5 представлены результаты расчета мощности системы отопления помеще-

ния здания для различных значений температуры наружного воздуха t_n , теплопроводности $\lambda_{из}$ и толщины $\delta_{из}$ слоя тепловой изоляции (ТИ) для г. Кемерово ($t_{н5}=-39^\circ\text{C}$) [8]. Расчеты выполнялись по программе для ЭВМ [9].

Таблица 1

Результаты расчета температур в 4-слойном ограждении, г. Кемерово ($t_{н5}=-39^\circ\text{C}$). $\delta_1=0,02$ м; $\delta_2=0,37$ м; $\delta_3=\delta_{из}=0,1/0,15$ м; $\delta_4=0,0035$ м. $t_b=20^\circ\text{C}$. ТИ расположена снаружи ограждения, $\lambda_{из}=0,05$ Вт/(м·К)

$t_n, ^\circ\text{C}$	$t_1=\tau_b, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$	$t_5=\tau_n, ^\circ\text{C}$
0,0	19,12 / 19,36	18,93/19,23	15,67/16,87	0,36/0,26	0,33/0,24
-10	18,68/19,04	18,40/18,84	13,51/15,31	-9,46/-9,61	-9,50/-9,64
-25	18,02 / 18,57	17,60/18,26	10,27/12,96	-24,19/-24,41	-24,25/-24,46
-39	17,40/18,12	16,85/17,72	7,24 / 10,77	-37,93/-38,23	-38,02/-38,29

Таблица 2

Результаты расчета температур в 4-слойном ограждении, г. Кемерово ($t_{н5}=-39^\circ\text{C}$). $\delta_1=0,02$ м; $\delta_2=\delta_{из}=0,1/0,15$ м; $\delta_3=0,37$ м; $\delta_4=0,02$ м. $t_b=20^\circ\text{C}$. ТИ размещена с внутренней стороны ограждения, $\lambda_{из}=0,05$ Вт/(м·К)

$t_n, ^\circ\text{C}$	$t_1=\tau_b, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$	$t_5=\tau_n, ^\circ\text{C}$
0,0	19,13/19,37	18,94/19,23	3,75/2,72	0,52/0,38	0,33/0,24
-10	18,69/19,05	18,41/18,84	-4,38/-5,93	-9,22/-9,44	-9,51/-9,64
-25	18,04/18,58	17,61/18,27	-16,57/-18,89	-23,84/-24,16	-24,26/-24,46
-39	17,42/18,13	16,87/17,73	-27,94/-30,99	-37,47/-37,89	-38,03/-38,29

Таблица 3

Данные расчета температур в 4-слойном ограждении при $t_n=t_{х.м}$: $\lambda_{из}=0,05$ Вт/(м·К), г. Кемерово ($t_{х.м}=-19,2^\circ\text{C}$, $t_b=20^\circ\text{C}$): 1) $\delta_1=0,02$ м, $\delta_2=0,37$ м, $\delta_3=\delta_{из}=0,1/0,15$ м, $\delta_4=0,0035$ м; 2) $\delta_1=0,02$ м, $\delta_2=\delta_{из}=0,1/0,15$ м, $\delta_3=0,37$ м, $\delta_4=0,02$ м; 3) $\delta_1=0,02$ м; $\delta_2=0,62$ м; $\delta_3=0,02$ м

Расположение ТИ в ограждении	$t_1=\tau_b, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$t_3, ^\circ\text{C}$	$t_4, ^\circ\text{C}$	$t_5=\tau_n, ^\circ\text{C}$
1. С наружной стороны $\delta_{из}=0,1/0,15$ м	18,28/ 18,75	17,9/ 18,48	11,52/ 13,87	-18,49/ -18,69	-18,55/ -18,73
2. С внутренней стороны $\delta_{из}=0,1/0,15$ м	18,29/ 18,76	17,92/ 18,49	-11,85/ -13,88	-18,2/ -18,46	-18,55/ -18,73
3. ТИ отсутствует	15,10	14,05	-16,30	-17,35	—

На рисунке 1 приведены графики изменения температуры в многослойном ограждении при расположении тепловой изоляции с наружной

стороны (рис. 1, а), с внутренней стороны (рис. 1, б) и при отсутствии тепловой изоляции в ограждении (рис. 1, в).

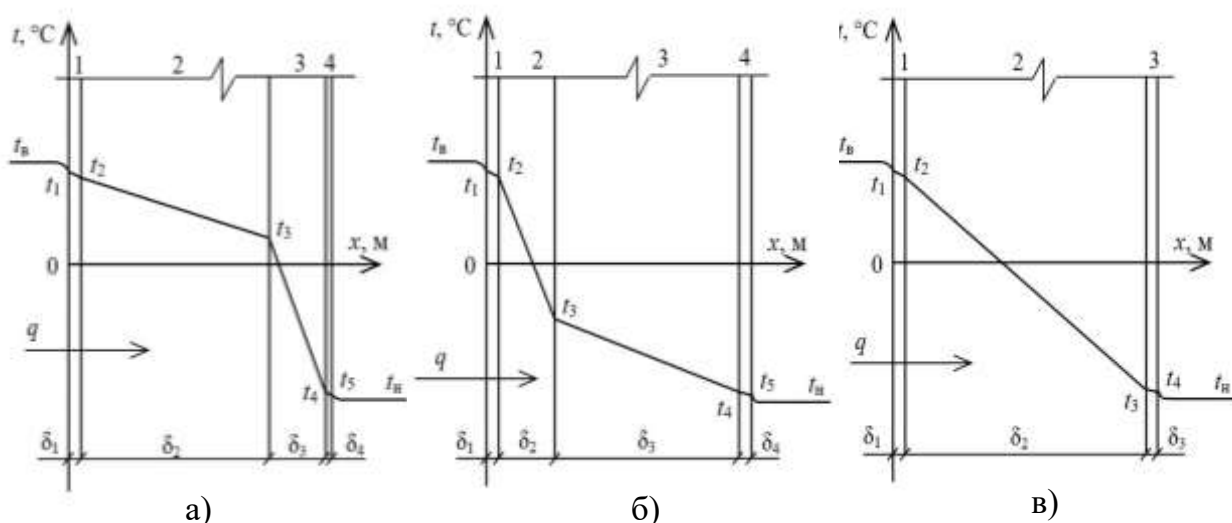


Рис. 1. Схемы ограждающих конструкций и графики распределения температур при расположении тепловой изоляции снаружи ограждения (а), с внутренней стороны ограждения (б) и при отсутствии тепловой изоляции в ограждении (в): 1, 2, 3, 4 – номера слоев ограждения;

t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 – температуры на границах слоев ограждения;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ – толщины слоев ограждения; $t_в, t_н$ – температура внутреннего и наружного воздуха

Таблица 4

Результаты расчета парциальных давлений водяного пара в 4-слойном ограждении ($\lambda_{из}=0,05$ Вт/(м·К)), г. Кемерово ($t_{х.м}=-19,2^\circ\text{C}$, $t_в=20^\circ\text{C}$): 1)

$\delta_1=0,02$ м, $\delta_2=0,37$ м, $\delta_3=\delta_{из}=0,1/0,15$ м, $\delta_4=0,0035$ м; 2) $\delta_1=0,02$ м, $\delta_2=\delta_{из}=0,1/0,15$ м, $\delta_3=0,37$ м, $\delta_4=0,02$ м; 3) $\delta_1=0,02$ м; $\delta_2=0,62$ м; $\delta_3=0,02$ м

Расположение ТИ в ограждении	p_1 , Па	p_2 , Па	p_3 , Па	p_4 , Па	p_5 , Па
Парциальное давление при полном насыщении водяного пара в воздухе					
1. С наружной стороны	2099,0/ 2162,6	2050,7/ 2126,7	1358,8/ 1584,7	118,7/ 116,6	117,8/ 116,4
2. С внутренней стороны	2100,8/ 2163,6	2052,9/ 2127,9	220,0/ 182,8	123,0/ 119,1	117,8/ 116,4
3. ТИ отсутствует	1716,3	1603,7	146,5	132,8	–
Фактическое парциальное давление водяного пара					
1. С наружной стороны	1279,6/ 1280,5	1244,4/ 1250,6	534,0/ 647,7	111,6/ 110,0	104,2/ 103,8
2. С внутренней стороны	1279,8/ 1280,6	1245,4/ 1251,3	832,6/ 724,1	138,5/ 133,0	104,1/ 103,7
3. ТИ отсутствует	1280,0	1247,2	136,8	104,0	–

Таблица 5

Результаты расчета мощности Q , Вт, системы отопления углового помещения в зависимости от t_n , $\delta_{из}$ и $\lambda_{из}$. г. Кемерово ($t_{н5}=-39^\circ\text{C}$)

$t_n, ^\circ\text{C}$	$\delta_{из}=0,05\text{ м};$ $\lambda_{из}=0,05$ Вт/(м·К)	$\delta_{из}=0,1\text{ м};$ $\lambda_{из}=0,05$ Вт/(м·К)	$\delta_{из}=0,15\text{ м};$ $\lambda_{из}=0,05$ Вт/(м·К)	$\delta_{из}=0,2\text{ м};$ $\lambda_{из}=0,05$ Вт/(м·К)	$\delta_{из}=0,1\text{ м};$ $\lambda_{из}=0,025$ Вт/(м·К)
+8,0	174,94	88,35	51,28	31,5	24,79
0,0	472,03	330,9	267,63	231,58	231,02
-10	843,41	634,08	538,05	481,67	488,8
-25	1400,46	1088,85	943,7	856,82	875,47
-39	1920,38	1513,3	1322,3	1206,96	1236,36

Выводы

1. Тепловой режим ограждения.

А) при расположении ТИ снаружи ограждения происходит равномерное понижение температуры от внутренней поверхности к наружной. Например, для г. Кемерово (см. табл. 1) при $t_n=t_{н5}=-39^\circ\text{C}$, $t_v=20^\circ\text{C}$ и $\delta_3=\delta_{из}=0,1\text{ м}$ имеем: $t_1=\tau_v=17,40$; $t_2=16,85$; $t_3=7,24$; $t_4=-37,93$; $t_5=\tau_n=-38,02^\circ\text{C}$. Резкое падение температуры происходит в теплоизоляционном слое от 7,24 до $-37,93^\circ\text{C}$.

Б) при расположении ТИ с внутренней стороны в конструктивном слое в зимний период температура становится отрицательной: $t_3=-27,94^\circ\text{C}$, $t_4=-37,47^\circ\text{C}$ (см. табл. 2), что приводит к снижению его теплотехнических и механических свойств.

2. Влажностный режим ограждения. При расположении ТИ с внутренней стороны в конструктивном слое ограждения в зимний период времени всегда происходит конденсация водяных паров (см. табл. 3, 4), что приводит к его увлажнению и последующему разрушению. Расположение ТИ с внутренней стороны ограждения недопустимо.

3. Тепловая мощность системы отопления. Расчет выполнен для углового помещения жилого дома. Размеры стен помещения: $A_c=3,4$; $A_z=6$; $h_{эт}=2,8$; $b_{ок}\times h_{ок}=1,45\times 1,5\text{ м}$; $R_{о.ст}=2,61\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$, $R_{ок}=0,65\text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$. Установлено, что при $t_{н5}=-39^\circ\text{C}$ для г. Кемерово увеличение толщины слоя ТИ $\delta_{из}$ с 0,05 м до 0,1 м ($\lambda_{из}=0,05\text{ Вт/(м·К)}$) обуславливает снижение тепловой мощности системы отопления на 21,2% (с 1920,38 до 1513,3 Вт). Уменьшение теплопроводности слоя ТИ до $\lambda_{из}=0,025\text{ Вт/(м·К)}$ ($\delta_{из}=0,1\text{ м}$) обуславливает снижение теплотерь с 1513,3 до 1236,36 Вт (на 18,3%).

Список литературы:

1. Справочник проектировщика: внутренние санитарно-технические устройства. Ч.1. Отопление / Под. ред. И.Г. Старовойта. 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1990. – 344 с.

2. Кудинов, А.А. Энергосбережение в теплоэнергетике и теплотехнологиях: монография / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. – М. : Машиностроение, 2011. – 374 с.

3. Кудинов, А. А. Строительная теплофизика : учебное пособие для вузов / А.А. Кудинов. – М. : ИНФРА-М, 2013. – 262 с.

4. Кудинов, А.А. Отопление гражданского здания : учебное пособие для вузов / А.А. Кудинов, С.К. Зиганшина. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т., 2020. – 83 с.

5. Кудинов, А.А. Газодинамика : учебное пособие для вузов / А. А. Кудинов. – М. : ИНФРА-М, 2011. – 336 с.

6. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика : учебник для вузов / В. Н. Богословский. – М. : Высш. школа, 1982. – 415 с.

7. Сканави, А.Н. Отопление : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению «Строительство» / А.Н. Сканави, Л.М. Махов. – М. : АСВ, 2002. – 576 с.

8. СНИП 23-01-99* Строительная климатология : СП 131.13330. СВОД ПРАВИЛ, 2025.

9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024617810 РФ. Расчет ограждающих конструкций и системы отопления здания / А. А. Кудинов, С. К. Зиганшина; опубли. 05.04.2024.

Информация об авторах:

Кудинов Анатолий Александрович, д.т.н., профессор, профессор кафедры «Тепловые электрические станции» СамГТУ, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, a.a.kudinov@yandex.ru

Зиганшина Светлана Камиловна, д.т.н., профессор кафедры «Тепловые электрические станции» СамГТУ, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, svet.zig@yandex.ru

Кудинов Евгений Анатольевич, студент гр. 1-ТЭФ-25ТЭФ-102, СамГТУ, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244, evgenijkudinov63@gmail.com