



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

**Л. В. Борухова
А. С. Шибeko**

**РАСЧЕТ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ
ЧЕРЕЗ ЗАПОЛНЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ
И МАССИВНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ
КОНСТРУКЦИИ**

**Пособие по курсовому
и дипломному проектированию**

**Минск
БНТУ
2015**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Теплогазоснабжение и вентиляция»

Л. В. Борухова
А. С. Шибeko

РАСЧЕТ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ
ЧЕРЕЗ ЗАПОЛНЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ
И МАССИВНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Пособие по курсовому и дипломному проектированию
для студентов специальности 1-70 04 02
«Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2015

УДК 697.911 (075.8)

ББК 38.762.2я7

Б83

Р е ц е н з е н т ы:

канд. техн. наук, доцент *К. Э. Гаркуша*;

канд. техн. наук *О. Н. Лешкевич*

Борухова, Л. В.

- Б83 Расчет теплопотуплений через заполнения световых проемов и массивные ограждающие конструкции : пособие по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна» / Л. В. Борухова, А. С. Шибeko. – Минск : БНТУ, 2015. – 57 с.
ISBN 978-985-550-477-2.

Данное пособие предназначено для студентов дневной и заочной формы обучения специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна».

В нем приведены основные теоретические положения, расчетные формулы, справочные данные и примеры расчета.

Пособие может быть полезно проектировщикам в сфере вентиляции и кондиционирования воздуха.

УДК 697.911 (075.8)

ББК 38.762.2я7

ISBN 978-985-550-477-2

© Борухова Л. В., Шибeko А. С., 2015

© Белорусский национальный
технический университет, 2015

ВВЕДЕНИЕ

Для поддержания допустимых метеорологических условий в помещениях зданий важен точный расчет требуемого воздухообмена, для которого необходимо найти величины поступающих в помещения избыточной теплоты, влаги и вредных веществ. Для общественных зданий основным вредным выделением является избыточная теплота, а в тепловом балансе современных зданий с маломассивными ограждающими конструкциями и большими площадями остекления существенную роль играют теплопоступления через наружные ограждения из-за воздействия солнечной радиации. Они могут составлять до 50 % общих теплопоступлений.

Солнечная радиация – это поток электромагнитных волн, движущийся со скоростью 300 000 км/с. Выделяют прямую и рассеянную солнечную радиацию. Прямая радиация поступает на поверхность в виде пучка параллельных лучей, исходящих от солнечного диска. Рассеянная солнечная радиация – эта та часть солнечной радиации, которая была рассеяна в земной атмосфере молекулами и частичками, содержащимися в воздухе, облаками. Она поступает на поверхность от всего небосвода.

В пособии приведена методика расчета теплопоступлений за счет солнечной радиации. Даны справочные материалы и пример расчета теплопоступлений для промышленного здания. Рассчитаны теплопоступления через заполнения световых проемов (окна) как сумма радиационной составляющей, возникающей в результате непосредственное проникновение солнечных лучей через остекление, и обусловленной теплопередачей составляющей. При расчете радиационной составляющей учтена ассимиляция теплоты внутренними ограждениями, мебелью и оборудованием и дана методика определения коэффициента ассимиляции. Произведен расчет теплопоступлений через массивные ограждения как суммы условного среднесуточного теплового потока (возникает из-за разности средней температуры наружного воздуха с учетом воздействия солнечной радиации и температуры внутреннего воздуха) и изменяющегося теплового потока (обусловлен изменением в течение суток температуры наружного воздуха и интенсивности солнечной радиации).

1. ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ ЗАПОЛНЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ

Тепловой поток $Q_{\text{п}}$, Вт, поступающий в помещение в расчетный час суток через заполнение световых проемов, определяется по выражению

$$Q_{\text{п}} = (q_{\text{пр}} a_{\text{п}} + q_{\text{пт}}) F_{\text{п}},$$

где $q_{\text{пр}}$ – удельный тепловой поток от солнечной радиации в помещении, Вт/м²;

$q_{\text{пт}}$ – удельный тепловой поток, поступающий в помещение за счет теплопередачи, Вт/м²;

$a_{\text{п}}$ – коэффициент ассимиляции теплопоступлений от солнечной радиации ограждающими конструкциями и оборудованием;

$F_{\text{п}}$ – площадь светопрозрачной конструкции, м².

Удельный тепловой поток от солнечной радиации $q_{\text{пр}}$, Вт/м²:
для вертикального заполнения световых проемов

$$q_{\text{пр}} = \left(q_{\text{п}}^{\text{в}} k_{\text{инс. в}} + q_{\text{р}}^{\text{в}} k_{\text{обл}} \right) k_{\text{отн}} \tau_2;$$

для горизонтального заполнения световых проемов

$$q_{\text{пр}} = \left(q_{\text{п}}^{\text{г}} k_{\text{инс. г}} + q_{\text{р}}^{\text{г}} k_{\text{обл}} \right) k_{\text{отн}} \tau_2;$$

для наклонного (близкого к вертикальному) заполнения световых проемов

$$q_{\text{пр}} = \left(q_{\text{п}}^{\text{н}} k_{\text{инс. н}} \cdot \frac{\text{ctg } \beta}{\text{ctg}(\beta \pm \beta')} + q_{\text{р}}^{\text{н}} k_{\text{обл}} \right) k_{\text{отн}} \tau_2;$$

для наклонного горизонтального остекления (зенитных фонарей)

$$q_{\text{пр}} = \left(q_{\text{п}}^{\text{н}} k_{\text{инс. г}} + q_{\text{р}}^{\text{н}} k_{\text{обл}} \right) k_{\text{отн}} \tau_2,$$

где $q_{\text{п}}$, $q_{\text{р}}$ – удельный тепловой поток, Вт/м², соответственно прямой и рассеянной солнечной радиации, прошедшей через одинарное остекление с толщиной стекла 2,5...3,5 мм, поступающей в помещение в расчетный час суток (для вертикальных принято обозначение индексом «в», горизонтальных – «г», наклонных – «н»), зависящий от расчетного часа, ориентации и географической широты строительства (табл. 1.1);

$k_{\text{инс. в}}$, $k_{\text{инс. г}}$, $k_{\text{инс. н}}$ – коэффициент инсоляции (для вертикального – индекс «в», горизонтального – «г», наклонного – «н») остекления, показывающий долю площади заполнения светового проема, через которую поступает прямая солнечная радиация;

$k_{\text{обл}}$ – коэффициент облученности окна небосводом;

β – угол (для горизонтальных затеняющих устройств), град, между вертикальной плоскостью остекления и проекцией солнечного луча на вертикальную плоскость, перпендикулярно рассматриваемой плоскости остекления;

β' – угол отклонения плоскости остекления от вертикального, град;

$k_{\text{отн}}$ – коэффициент относительного проникания солнечной радиации через заполнение световых проемов, отличающихся от одинарного остекления (табл. 1.2);

τ_2 – коэффициент, учитывающий затенение светового проема переплетами, принимаемый по табл. 1.2.

Для наклонного горизонтального остекления «а» (рис. 1.1) при $0 \leq A_{\text{с.о}} \leq 90^\circ$ и $270^\circ \leq A_{\text{с.о}} \leq 360^\circ$

$$q_{\text{п}}^{\text{H}} = q_{\text{п}}^{\text{Г}} \cos \alpha + q_{\text{п}}^{\text{В}} \sin \alpha;$$

$$q_{\text{р}}^{\text{H}} = q_{\text{р}}^{\text{Г}} \cos \alpha + q_{\text{р}}^{\text{В}} \sin \alpha;$$

для остекления «b» при $90^\circ < A_{\text{с.о}} < 270^\circ$

$$q_{\text{п}}^{\text{H}} = q_{\text{п}}^{\text{Г}} \cos \alpha - q_{\text{п}}^{\text{В}} \sin \alpha;$$

$$q_{\text{р}}^{\text{H}} = q_{\text{р}}^{\text{Г}} \cos \alpha - q_{\text{р}}^{\text{В}} \sin \alpha,$$

где $q_{п}^B$, $q_{п}^Г$, $q_{р}^B$ и $q_{р}^Г$ – удельные тепловые потоки, Вт/м², поступающие от прямой («п») и рассеянной («р») солнечной радиации соответственно через вертикальное («в») и горизонтальное («г») остекление той же ориентации, что и наклонное остекление «а» (рис. 1.1), принимаемые по табл. 1.1;

$q_{п}^{'B}$, $q_{р}^{'B}$ – удельные тепловые потоки, Вт/м², поступающие от прямой и рассеянной солнечной радиации через вертикальное остекление, ориентация которого соответствует остеклению «b» (рис. 1.1), т. е. противоположна ориентации наклонного остекления «а», принимаемые по табл. 1.1;

α – угол наклона остекления к горизонтальной плоскости, град.

Таблица 1.1

Удельный тепловой поток солнечной радиации в июле, прошедший через вертикальное и горизонтальное одинарное остекление световых проемов [2]

Истинное солнечное время, ч		Вид удельного теплового потока	Удельный тепловой поток, Вт/м ² , поступающий в помещение через одинарное остекление								
			Вертикальное с ориентацией до полудня								горизонтальное
до полудня	после полудня		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
			После полудня								
		С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ		
52° с. ш.											
5–6	18–19	$q_{п}$	102	301	371	116	–	–	–	–	57
		$q_{р}$	55	69	73	52	31	23	28	28	42
6–7	17–18	$q_{п}$	26	391	497	272	–	–	–	–	158
		$q_{р}$	69	98	119	91	59	43	44	44	62
7–8	16–17	$q_{п}$	–	342	545	398	13	–	–	–	291
		$q_{р}$	71	106	129	110	76	55	53	53	73
8–9	15–16	$q_{п}$	–	196	428	448	94	–	–	–	419
		$q_{р}$	67	96	123	114	85	63	57	58	82
9–10	14–15	$q_{п}$	–	42	374	429	206	–	–	–	508
		$q_{р}$	63	79	100	110	87	67	59	60	87
10–11	13–14	$q_{п}$	–	–	193	363	299	14	–	–	585
		$q_{р}$	60	69	84	98	90	72	60	62	93
11–12	12–13	$q_{п}$	–	–	37	272	344	150	–	–	630
		$q_{р}$	59	65	72	86	91	78	65	63	98

Окончание табл. 1.1

Истинное солнечное время, ч		Вид удельного теплового потока	Удельный тепловой поток, Вт/м ² , поступающий в помещение через одинарное остекление								
			Вертикальное с ориентацией до полудня								горизонтальное
до полудня	после полудня		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
			После полудня								
		С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ		
54° с. ш.											
4–5	19–20	q_n	44	83	114	14	–	–	–	–	17
		q_p	10	16	14	35	6	7	7	7	10
5–6	18–19	q_n	103	323	402	128	–	–	–	–	67
		q_p	56	72	74	55	33	26	29	29	42
6–7	17–18	q_n	22	396	510	280	–	–	–	–	164
		q_p	68	96	117	91	59	43	44	44	80
7–8	16–17	q_n	–	341	546	411	18	–	–	–	289
		q_p	68	102	126	108	75	54	51	53	72
8–9	15–16	q_n	–	185	466	464	111	–	–	–	412
		q_p	65	92	119	111	85	64	56	57	80
9–10	14–15	q_n	–	34	376	454	226	–	–	–	501
		q_p	61	75	96	106	88	67	58	59	87
10–11	13–14	q_n	–	–	193	395	323	18	–	–	576
		q_p	59	66	80	95	91	72	59	60	92
11–12	12–13	q_n	–	–	37	301	371	163	–	–	618
		q_p	57	62	70	83	92	77	64	61	96
56° с. ш.											
5–6	18–19	q_n	88	165	227	28	–	–	–	–	33
		q_p	19	32	27	70	12	13	13	13	20
6–7	17–18	q_n	103	344	433	140	–	–	–	–	76
		q_p	56	74	74	57	35	28	30	30	42
7–8	16–17	q_n	17	401	523	287	–	–	–	–	169
		q_p	66	93	115	90	58	42	43	44	97
8–9	15–16	q_n	–	339	547	424	22	–	–	–	287
		q_p	65	98	122	105	74	53	48	53	71
9–10	14–15	q_n	–	174	504	479	128	–	–	–	405
		q_p	62	87	114	108	85	64	55	56	78
10–11	13–14	q_n	–	26	378	479	245	–	–	–	493
		q_p	58	71	91	102	88	67	56	57	87
11–12	12–13	q_n	–	–	193	427	347	21	–	–	566
		q_p	57	62	76	92	91	72	58	58	91

Примечание. Проверк означает отсутствие удельного теплового потока прямой солнечной радиации, прошедшей через одинарное остекление ($q_n = 0$).

Таблица 1.2

Теплотехнические характеристики заполнения
световых проемов [2, 10]

Вид заполнения светового проема	Приведенное сопротивление теплопередаче $R_{пв}$, м ² ·°С/Вт	Коэффициент относительного проникания $k_{отн}$	Коэффициент затенения τ_2
Тройное остекление из обычного стекла в раздельно-спаренных деревянных переплетах	0,55	0,70	0,50
Однокамерный стеклопакет в одинарном деревянном или ПВХ переплете (оба стекла обычные)*	0,35	0,76	0,80
Однокамерный стеклопакет в одинарном деревянном или ПВХ переплете (одно обычное стекло, второе – с мягким селективным покрытием)*	0,56	0,54	0,80
Двухкамерный стеклопакет в одинарном деревянном или ПВХ переплете (все стекла обычные, межстекольное расстояние 12 мм)*	0,54	0,74	0,80
Двухкамерный стеклопакет в одинарном деревянном или ПВХ переплете (с одним стеклом с мягким селективным покрытием)*	0,68	0,48	0,80
Двухкамерный стеклопакет в одинарном 5-камерном ПВХ переплете (среднее и внутреннее стекло с мягким селективным покрытием, межстекольное расстояние – 14 мм – заполнено воздухом)	1,01	0,36	0,50
Двухкамерный стеклопакет в одинарном 5-камерном ПВХ переплете (среднее и внутреннее стекло с мягким селективным покрытием, межстекольное расстояние – 10 мм – заполнено аргоном)	1,06	0,36	0,50

Примечание. Значения для заполнений со стеклопакетами, отмеченных звездочкой, приведены при толщине переплета 78 мм (для деревянных) и 60 мм с тремя воздушными камерами (ПВХ). При применении ПВХ переплетов шириной 70 мм и с пятью воздушными камерами приведенное сопротивление теплопередаче увеличивается на 0,03 м²·°С/Вт.

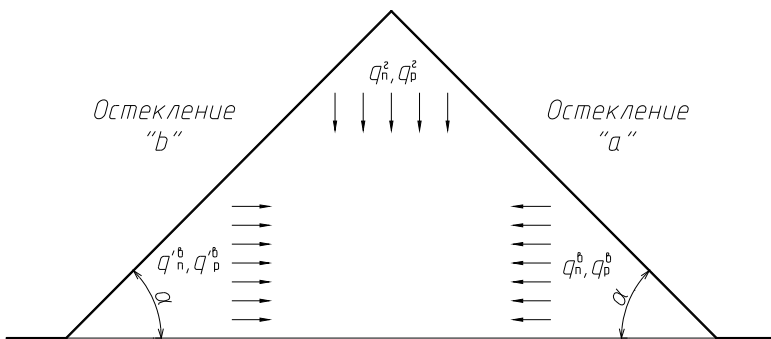


Рис. 1.1. К расчету наклонного горизонтального остекления

Коэффициенты инсоляции (рис. 1.2) для вертикального, горизонтального и наклонного вертикального световых проемов рассчитываются по следующим выражениям:

$$k_{\text{инс. в}} = \left(1 - \frac{L_{\Gamma} \text{ctg } \beta - a}{H}\right) \cdot \left(1 - \frac{L_{\text{в}} \text{tg } A_{\text{с.о}} - c}{B}\right);$$

$$k_{\text{инс. г}} = \left(1 - \frac{L_{\Gamma} \text{ctg } h \sin A_{\text{с.о}} - a}{H}\right) \cdot \left(1 - \frac{L_{\text{в}} \text{ctg } h \cos A_{\text{с.о}} - c}{B}\right);$$

$$k_{\text{инс. н}} = \left(1 - \frac{L_{\Gamma} \text{ctg } (\beta \pm \beta') - a}{H}\right) \cdot \left(1 - \frac{L_{\text{в}} \text{tg } A_{\text{с.о}} \frac{\sin \beta}{\sin (\beta \pm \beta')} - c}{B}\right),$$

где β – угол (для горизонтальных затеняющих устройств), град, между вертикальной плоскостью остекления и проекцией солнечного луча на вертикальную плоскость, перпендикулярно рассматриваемой плоскости остекления (рис. 1.2):

$$\beta = \text{arctg} \left(\text{ctg } h \cos A_{\text{с.о}} \right),$$

где h – высота стояния солнца (см. рис. 1.2), град, определяемая в соответствии с табл. 1.3;

$A_{c.o}$ – солнечный азимут остекления (для вертикальных затеняющих устройств), град, определяемый в зависимости от азимута солнца и ориентации заполнения светового проема (табл. 1.4);

L_v, L_r – характерный размер вертикальных и горизонтальных выступающих элементов затенения (см. рис. 1.2), м;

a, c – расстояния от горизонтального и вертикального элементов затенения до откоса светового проема (рис. 1.3), м.

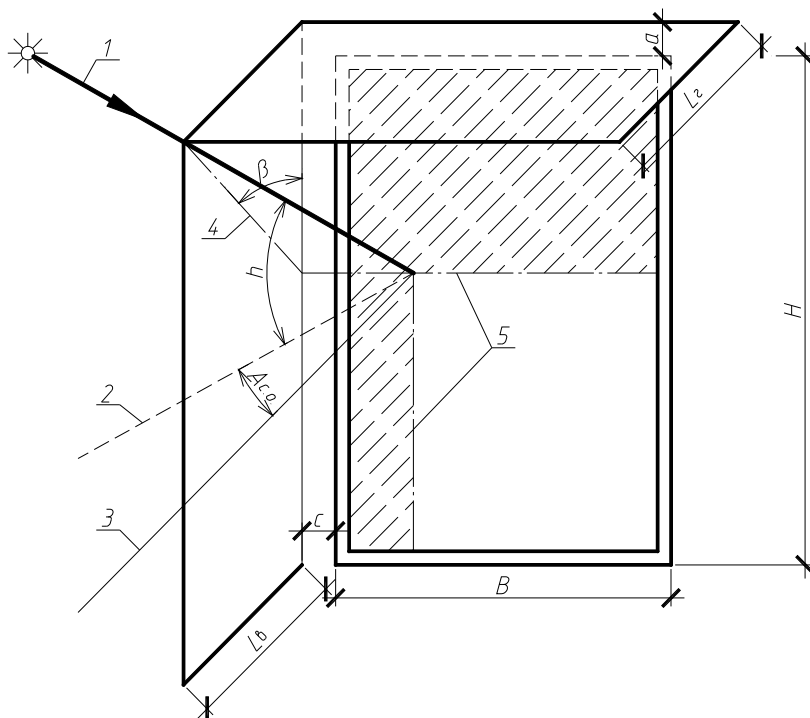


Рис. 1.2. К определению коэффициента инсоляции

1 – направление солнечного луча; 2 – горизонтальная проекция солнечного луча; 3 – нормаль к плоскости заполнения светового проема; 4 – проекция солнечного луча на вертикальную (к плоскости заполнения и горизонта) плоскость; 5 – границы тени от солнцезащитных устройств на поверхности заполнения; H – высота светового проема; B – ширина светопроема; a – расстояние от горизонтального элемента затенения до откоса проема; c – расстояние от вертикального элемента затенения до откоса светового проема; L_v – размер вертикальных выступающих элементов затенения; L_r – размер горизонтальных выступающих элементов затенения

Таблица 1.3

Высота h и азимут солнца A_c
на различных широтах в июле [2]

Истинное солнечное время, ч		Значения h и A_c , град, для географической широты					
До полудня	После полудня	52° с. ш.		54° с. ш.		56° с. ш.	
		h	A_c	h	A_c	h	A_c
4...5	19...20	3	119	4	120	5	120
5...6	18...19	12	109	13	109	13	108
6...7	17...18	21	97	21	96	21	95
7...8	16...17	30	85	30	84	29	82
8...9	15...16	38	72	37	70	37	69
9...10	14...15	47	56	46	55	45	53
10...11	13...14	54	36	53	35	51	33
11...12	12...13	58	13	56	13	54	12
12 (полдень)		58	0	56	0	54	0

Примечание. Азимут солнца до полудня отсчитывается от южного направления против часовой стрелки, после – по часовой стрелке.

Таблица 1.4

Солнечный азимут остекления в зависимости от ориентации
заполнения светового проема [2]

Ориентация заполнения		Азимут солнца A_c , град	Солнечный азимут остекления $A_{c, о}$, град
С		–	$180 - A_c$
СЗ, СВ		> 135	$A_c - 135$
		< 135	$135 - A_c$
В (до полудня)		> 90	$A_c - 90$
З (после полудня)		< 90	$90 - A_c$
ЮВ	до полудня	> 45	$A_c - 45$
	до полудня	< 45	$45 - A_c$
		после полудня	–
			$A_c + 45$
ЮЗ	до полудня	–	$A_c + 45$
	до полудня	> 45	$A_c - 45$
		после полудня	–
			$45 - A_c$
Ю		–	A_c

При определении коэффициента инсоляции возможны следующие частные случаи:

1) если удельный тепловой поток прямой солнечной радиации, прошедшей через одинарное остекление, $q_{п}$, Вт/м², принимаемый по табл. 1.1, равен 0, то $k_{инс} = 0$, так как световой проем находится в тени;

2) если хотя бы одно из выражений в скобках меньше нуля, то следует принимать $k_{инс} = 0$, так как световой проем полностью затенен;

3) если одно из выражений в скобках больше единицы, то его следует принимать равным 1, так как тень от солнцезащитного устройства не доходит до светового проема.

Коэффициент облученности окна небосводом $k_{обл}$, зависящий от углов γ_1 и β_1 (рис. 1.3), вычисляется как произведение коэффициентов облучения $k_{обл.г}$ и $k_{обл.в}$ соответствующей горизонтальной и вертикальной солнцезащитной конструкции по рис. 1.4;

$$\gamma_1 = \arctg \frac{L_в}{B + c};$$

$$\beta_1 = \arctg \frac{L_г}{H + a}.$$

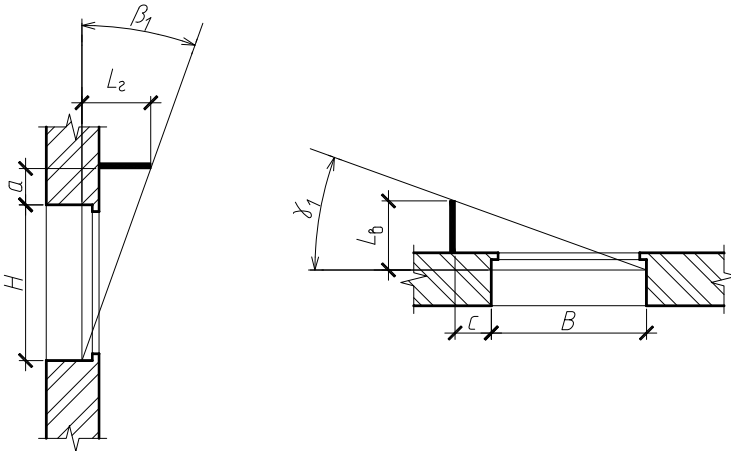


Рис. 1.3. Определение углов γ_1 и β_1 для расчета коэффициента облученности

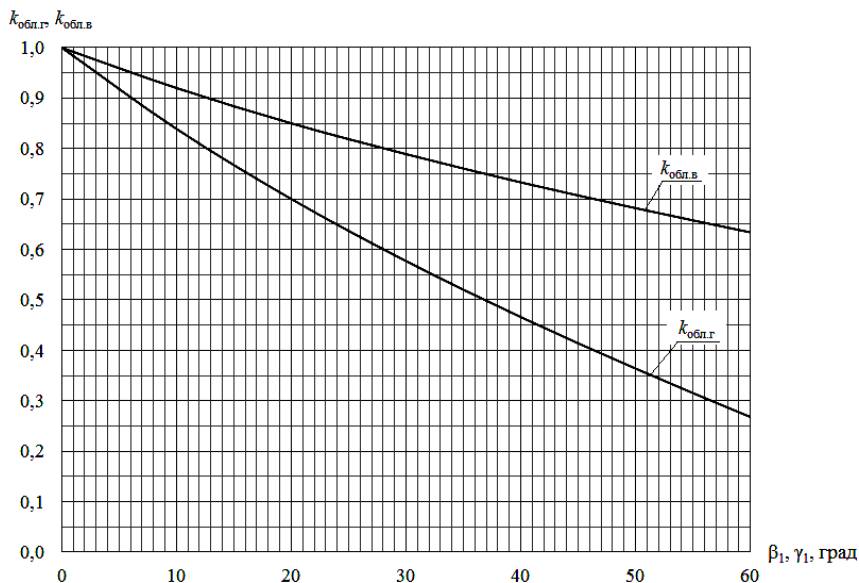


Рис. 1.4. Зависимость коэффициентов облученности $k_{obl.g}$ и $k_{obl.v}$ от углов β_1 и γ_1

Удельный тепловой поток, обусловленный теплопередачей, рассчитывается по выражению

$$q_{ПТ} = \frac{t_{н.усл} - t_{в}}{R_{П}}, \text{ Вт/м}^2,$$

где $t_{в}$ – расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимаемая согласно норм проектирования [5, 6, 11];

$t_{н.усл}$ – условная температура наружной среды, °С, рассчитываемая при вертикальном заполнении световых проемов:

$$t_{н.усл} = t_{н.ср} + 0,5A_{t_n} \beta_2 + \frac{S_{в} k_{инс.в} + D_{в} k_{obl}}{\alpha_{н}^в} \rho_{П} \tau_2;$$

при горизонтальном заполнении световых проемов:

$$t_{н.усл} = t_{н.ср} + 0,5A_{t_n} \beta_2 + \frac{S_{г} k_{инс.г} + D_{г} k_{obl}}{\alpha_{н}^г} \rho_{П} \tau_2;$$

при наклонном заполнении световых проемов:

$$t_{н. усл} = t_{н. ср} + 0,5 A_{тн} \beta_2 + \frac{S_B k_{инс. в} \frac{\text{ctg } \beta}{\text{ctg}(\beta \pm \beta')} + D_B k_{обл}}{\alpha_{тн}^B} \rho_{II} \tau_2,$$

где $t_{н. ср}$ – средняя температура наружного воздуха, °С, наиболее жаркого месяца (июля) для вентиляции (обеспеченностью 0,5), принимаемая в соответствии с табл. 3.3 [7], и наиболее жарких суток для кондиционирования воздуха (обеспеченностью 0,9...0,95), принимаемая в соответствии с табл. 3.2 [7]. Для некоторых населенных пунктов значения приведены в табл. 5;

$A_{тн}$ – суточная амплитуда температуры наружного воздуха, °С, принимаемая по табл. 3.4 [7], значения для некоторых населенных пунктов приведены в табл. 5;

β_2 – коэффициент, учитывающий гармоническое изменение температуры воздуха, который рассчитывается по формуле

$$\beta_2 = \cos \frac{\pi(15 - z + \varepsilon)}{12}, \quad (1.1)$$

где z – расчетный час;

ε – запаздывание температурных колебаний в ограждении, для заполнений световых проемов $\varepsilon = 0$ ч;

S, D – удельный тепловой поток соответственно прямой и рассеянной радиации, Вт/м², поступающей каждый час на вертикальную (индекс «в») и горизонтальную поверхность (индекс «г»), принимаемый по табл. 1.6;

ρ_{II} – коэффициент поглощения солнечной радиации заполнением светового проема, принимаемый по справочным данным [2]; для тройного остекления и двухкамерных стеклопакетов $\rho_{II} = 0,7$, для однокамерного стеклопакета из стекла толщиной 4 мм в деревянных и ПВХ переплетах можно ориентировочно принять $\rho_{II} = 0,4$;

$\alpha_{тн}$ – суммарный коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения (для теплого периода), Вт/(м²·°С), зависящий от скорости ветра.

Для вертикальной поверхности

$$\alpha_n^B = 5,8 + 11,6\sqrt{v}; \quad (1.2)$$

для горизонтальной поверхности

$$\alpha_n^r = 8,7 + 2,6v, \quad (1.3)$$

где v – минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16 % и более, м/с, принимаемая в соответствии с табл. 3.2 [7], но не менее 1 м/с, значения для некоторых населенных пунктов приведены в табл. 1.5;

R_{II} – приведенное сопротивление теплопередаче заполнения светового проема, $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$, принимаемое по табл. 1.4.

Таблица 1.5

Значения параметров наружного воздуха для июля [7, 11]

Населенный пункт	Параметр А	Температура наружного воздуха $t_{н,ср}$, $^\circ C$		Суточная амплитуда температуры наружного воздуха Δt_n , $^\circ C$	Минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль с повторяемостью 16 % и более v , м/с
		средняя	жарких суток обеспеченностью 0,95		
1	2	3	4	5	6
Брестская область					
Брест	22,6	18,6	23,0	10,6	2,6
Барановичи	21,9	17,6	–	10,8	3,1
Высокое	–	18,0	–	11,1	–
Ганцевичи	22,2	17,9	–	11,4	–
Ивацевичи	–	18,1	–	10,9	–
Полесский	–	17,5	–	12,9	–
Пружаны	22,2	17,8	–	11,1	2,6
Пинск	22,4	18,3	23,0	10,7	3,1
Витебская область					
Витебск	21,1	17,7	21,5	10,0	2,5
Верхнедвинск	21,0	17,3	21,5	10,2	2,4
Докшицы	–	17,0	–	11,0	–
Езерище	–	17,2	–	10,0	–
Лепель	21,0	17,6	–	9,7	2,1

Окончание табл. 1.5

1	2	3	4	5	6
Лынтупы	–	16,8	–	10,6	–
Орша	–	17,4	–	10,8	–
Полоцк	21,1	17,5	22,0	10,6	2,3
Сенно	–	17,6	–	9,9	–
Шарковщина	21,0	17,5	22,0	10,6	2,4
Гомельская область					
Гомель	22,3	19,1	23,0	10,3	3,8
Брагин	22,5	18,5	23,5	11,4	0,0
Василевичи	22,8	18,5	23,0	11,4	0,0
Житковичи	22,5	18,4	–	11,2	2,3
Жлобин	22,4	18,5	–	10,8	2,3
Лельчицы	22,8	18,6	–	11,6	–
Мозырь	–	18,6	–	11,1	–
Октябрь	–	18,2	–	11,6	–
Чечерск	–	18,4	–	10,3	–
Гродненская область					
Гродно	21,7	17,6	22,5	11,4	0,0
Волковыск	22,0	17,7	–	10,6	3,0
Лида	21,5	17,6	22,0	10,5	2,8
Новогрудок	20,3	17,1	21,0	9,2	3,0
Ошмяны	–	16,9	–	10,3	–
Минская область					
Минск	21,2	17,8	22,0	9,8	2,2
Березино	–	17,9	–	11,0	–
Борисов	21,6	17,8	–	10,4	2,3
Вилейка	21,4	17,6	–	10,5	2,3
Воложин	20,8	17,4	–	9,3	–
Марьина Горка	21,8	17,8	22,5	10,8	2,9
Слуцк	21,8	17,7	–	11,2	–
Столбцы	–	17,8	–	10,9	–
Могилевская область					
Могилев	21,6	17,7	22,0	10,7	3,6
Бобруйск	22,3	17,8	–	11,3	2,8
Горки	21,1	17,4	21,5	10,5	3,0
Кличев	–	17,7	–	11,4	–
Костюковичи	–	17,9	–	10,9	–
Славгород	22,0	18,1	–	10,4	2,9

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных в [7, 11]. Параметры воздуха принимаются по ближайшему городу, приведенному в таблице.

Таблица 1.6

Удельный тепловой поток солнечной радиации,
 поступающий на вертикальную и горизонтальную поверхности
 в июле при безоблачном небе [8]

Истинное солнечное время, ч		Вид удельного теплового потока	Удельный тепловой поток, Вт/м ² , поступающий на поверхность									
			Вертикальную с ориентацией до полудня								гори- зон- таль ную	
до по- лудня	после по- лудня		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ		
			После полудня									
		С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ			
52° с. ш.												
5–6	18–19	<i>S</i>	100	108	160	5	–	–	–	–	33	
		<i>D</i>	17	33	29	20	10	12	13	12	21	
6–7	17–18	<i>S</i>	155	342	442	154	–	–	–	–	119	
		<i>D</i>	73	93	99	71	43	37	39	37	56	
7–8	16–17	<i>S</i>	77	449	564	316	–	–	–	–	223	
		<i>D</i>	93	131	160	122	80	58	59	59	84	
8–9	15–16	<i>S</i>	–	418	607	457	58	–	–	–	364	
		<i>D</i>	97	143	174	149	102	73	72	72	100	
9–10	14–15	<i>S</i>	–	281	572	521	171	–	–	–	495	
		<i>D</i>	91	130	166	154	114	85	77	79	112	
10–11	13–14	<i>S</i>	–	119	457	518	283	–	–	–	586	
		<i>D</i>	85	107	135	149	119	92	77	81	119	
11–12	12–13	<i>S</i>	–	8	280	465	378	65	–	–	666	
		<i>D</i>	81	93	113	131	121	98	81	84	126	
54° с. ш.												
4–5	19–20	<i>S</i>	128	149	218	12	–	–	–	–	49	
		<i>D</i>	28	41	33	24	13	12	16	12	24	
5–6	18–19	<i>S</i>	160	366	468	167	–	–	–	–	133	
		<i>D</i>	70	95	101	76	46	37	41	37	56	
6–7	17–18	<i>S</i>	67	454	579	331	–	–	–	–	223	
		<i>D</i>	93	130	104	122	80	58	59	59	82	
7–8	16–17	<i>S</i>	–	416	614	473	70	–	–	–	364	
		<i>D</i>	93	142	174	149	105	73	72	72	101	
8–9	15–16	<i>S</i>	–	271	579	535	188	–	–	–	488	
		<i>D</i>	86	128	169	154	115	85	77	78	112	
9–10	14–15	<i>S</i>	–	105	461	530	306	–	–	–	579	
		<i>D</i>	83	105	135	149	119	92	77	81	119	
10–11	13–14	<i>S</i>	–	3	281	485	405	77	–	–	663	
		<i>D</i>	81	91	113	131	131	99	81	81	122	
11–12	12–13	<i>S</i>	–	–	105	393	451	250	–	–	712	
		<i>D</i>	77	84	96	116	123	105	87	84	126	

Окончание табл. 1.6

Истинное солнечное время, ч		Вид удельного теплового потока	Удельный тепловой поток, Вт/м ² , поступающий на поверхность								
			Вертикальную с ориентацией до полудня								гори- зон- таль- ную
до по- лудня	после по- лудня		С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	
			После полудня								
С	СЗ	З	ЮЗ	Ю	ЮВ	В	СВ				
56° с. ш.											
5–6	18–19	<i>S</i>	136	187	258	23	–	–	–	–	62
		<i>D</i>	26	44	36	27	16	17	17	16	27
6–7	17–18	<i>S</i>	159	391	482	184	–	–	–	–	140
		<i>D</i>	76	95	101	77	46	37	41	41	56
7–8	16–17	<i>S</i>	64	461	594	347	–	–	–	–	237
		<i>D</i>	90	126	156	121	78	56	58	59	77
8–9	15–16	<i>S</i>	–	414	621	488	83	–	–	–	359
		<i>D</i>	87	133	165	142	101	72	65	72	96
9–10	14–15	<i>S</i>	–	261	579	551	207	–	–	–	482
		<i>D</i>	83	119	155	145	114	86	74	76	105
10–11	13–14	<i>S</i>	–	93	461	551	327	–	–	–	572
		<i>D</i>	78	95	121	128	120	92	76	77	119
11–12	12–13	<i>S</i>	–	–	283	502	428	91	–	–	650
		<i>D</i>	77	84	102	124	122	98	79	78	122

Примечание. Прочерк означает отсутствие теплового потока прямой солнечной радиации ($S = 0$).

Коэффициент ассимиляции тепlopоступлений от солнечной радиации ограждающими конструкциями и оборудованием a_n определяется по табл. 1.7 в зависимости от отношения $\Sigma Y/\Lambda$, в котором ΣY – показатель суммарного теплосуования ограждающими конструкциями и оборудованием, Вт/°С, рассчитываемый по выражению:

$$\Sigma Y = Y_{в1}F_1 + Y_{в2}F_2 + \dots + Y_{вn}F_n + Y_{вII}F_{II} + Y_{об},$$

где $Y_{в1}, Y_{в2}, \dots, Y_{вn}, Y_{вII}$ – коэффициенты теплосуования внутренней поверхности наружной стены, внутренних ограждений, потолка, пола, остекления, Вт/(м²·°С);

$F_1, F_2, \dots, F_n, F_{II}$ – площадь соответствующего ограждения, м²;

$Y_{об}$ – коэффициент теплосуования поверхностью оборудования, Вт/°С;

Λ – показатель интенсивности конвективного теплообмена, Вт/°С, определяемый по формуле

$$\Lambda = 2,55(F_1 + F_2 + \dots + F_n + F_{II} + F_{об}), \quad (1.4)$$

где $F_{об}$ – площадь поверхности оборудования, м².

Таблица 1.7
Значение коэффициента ассимиляции теплоступлений от солнечной радиации [3]

$\lambda \gamma$	Часы суток																								
	z_n	z_n+1	z_n+2	z_n+3	z_n+4	z_n+5	z_n+6	z_n+7	z_n+8	z_n+9	z_n+10	z_n+11	z_n+12	z_n+13	z_n+14	z_n+15	z_n+16	z_n+17	z_n+18	z_n+19	z_n+20	z_n+21	z_n+22	z_n+23	
Продолжительность поступления прямой солнечной радиации $z_n = 4$ часов																									
0,5	0,01	0,33	0,61	0,88	0,25	0,12	0,08	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
1,0	0,03	0,22	0,43	0,46	0,27	0,15	0,11	0,09	0,08	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
1,5	0,04	0,16	0,33	0,38	0,26	0,16	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04
2,0	0,05	0,14	0,28	0,33	0,24	0,15	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
2,5	0,05	0,12	0,24	0,29	0,23	0,15	0,13	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
3,0	0,06	0,11	0,22	0,27	0,22	0,15	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
3,5	0,06	0,10	0,20	0,24	0,21	0,14	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06
4,0	0,06	0,10	0,18	0,23	0,20	0,14	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
4,5	0,07	0,10	0,17	0,21	0,19	0,14	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
5,0	0,07	0,09	0,16	0,20	0,18	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
5,5	0,07	0,09	0,15	0,19	0,18	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07
6,0	0,07	0,09	0,15	0,19	0,17	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07
Продолжительность поступления прямой солнечной радиации $z_n = 6$ часов																									
0,5	0,02	0,24	0,50	0,66	0,68	0,52	0,25	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,08	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
1,0	0,04	0,17	0,36	0,50	0,54	0,46	0,28	0,18	0,14	0,12	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
1,5	0,06	0,15	0,29	0,40	0,45	0,41	0,28	0,19	0,16	0,14	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,03	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,06
2,0	0,07	0,13	0,25	0,35	0,39	0,37	0,27	0,20	0,17	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
2,5	0,08	0,13	0,22	0,31	0,35	0,34	0,26	0,20	0,17	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
3,0	0,09	0,12	0,21	0,28	0,32	0,31	0,26	0,20	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09
3,5	0,09	0,12	0,19	0,26	0,30	0,28	0,25	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
4,0	0,10	0,12	0,18	0,25	0,28	0,28	0,24	0,19	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10
4,5	0,10	0,12	0,18	0,23	0,27	0,27	0,23	0,19	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,11	0,11
5,0	0,11	0,12	0,17	0,22	0,26	0,26	0,23	0,19	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11
5,5	0,11	0,12	0,17	0,21	0,25	0,25	0,22	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,11
6,0	0,11	0,12	0,16	0,21	0,24	0,24	0,22	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11
Продолжительность поступления прямой солнечной радиации $z_n = 8$ часов																									
0,5	0,06	0,20	0,41	0,60	0,71	0,72	0,64	0,50	0,24	0,15	0,11	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,03
1,0	0,06	0,16	0,31	0,45	0,55	0,59	0,55	0,45	0,29	0,20	0,17	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07
1,5	0,08	0,15	0,26	0,38	0,46	0,50	0,49	0,42	0,30	0,22	0,19	0,17	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,09
2,0	0,10	0,14	0,24	0,33	0,40	0,44	0,44	0,39	0,30	0,23	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10
2,5	0,11	0,15	0,22	0,30	0,37	0,40	0,40	0,37	0,29	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12
3,0	0,12	0,14	0,21	0,28	0,34	0,37	0,38	0,35	0,29	0,24	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13

\sqrt{K}	Часы суток																								
	z_n	z_{n+1}	z_{n+2}	z_{n+3}	z_{n+4}	z_{n+5}	z_{n+6}	z_{n+7}	z_{n+8}	z_{n+9}	z_{n+10}	z_{n+11}	z_{n+12}	z_{n+13}	z_{n+14}	z_{n+15}	z_{n+16}	z_{n+17}	z_{n+18}	z_{n+19}	z_{n+20}	z_{n+21}	z_{n+22}	z_{n+23}	
3,5	0,13	0,15	0,20	0,27	0,32	0,35	0,36	0,33	0,29	0,24	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13
4,0	0,14	0,15	0,20	0,25	0,30	0,33	0,34	0,32	0,28	0,27	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13
4,5	0,14	0,16	0,20	0,25	0,29	0,32	0,31	0,27	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15
5,0	0,15	0,16	0,19	0,24	0,28	0,31	0,30	0,27	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15
5,5	0,15	0,16	0,19	0,23	0,27	0,29	0,30	0,29	0,26	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,15
6,0	0,15	0,16	0,19	0,23	0,26	0,29	0,30	0,29	0,26	0,23	0,22	0,21	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16
Продолжительность поступления прямой солнечной радиации $z_n = 10$ часов																									
0,5	0,04	0,17	0,35	0,52	0,66	0,74	0,76	0,71	0,60	0,44	0,24	0,16	0,13	0,11	0,09	0,09	0,08	0,07	0,07	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05
1,0	0,08	0,16	0,28	0,41	0,52	0,60	0,63	0,61	0,55	0,44	0,30	0,22	0,19	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09
1,5	0,11	0,16	0,25	0,35	0,44	0,51	0,54	0,54	0,50	0,43	0,32	0,25	0,22	0,20	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12
2,0	0,13	0,16	0,24	0,32	0,40	0,45	0,49	0,49	0,46	0,41	0,33	0,27	0,24	0,22	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14
2,5	0,15	1,17	0,23	0,30	0,37	0,42	0,45	0,46	0,44	0,39	0,32	0,27	0,25	0,23	0,21	0,20	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15
3,0	0,16	0,18	0,23	0,29	0,34	0,39	0,42	0,43	0,42	0,38	0,32	0,28	0,25	0,24	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,16	0,16	0,15
3,5	0,17	0,18	0,22	0,28	0,33	0,37	0,40	0,41	0,40	0,37	0,32	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17
4,0	0,18	0,19	0,22	0,27	0,31	0,35	0,33	0,39	0,38	0,36	0,32	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18
4,5	0,18	0,19	0,22	0,27	0,31	0,34	0,37	0,37	0,37	0,35	0,31	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19
5,0	0,19	0,19	0,22	0,26	0,30	0,33	0,35	0,36	0,36	0,34	0,31	0,28	0,27	0,25	0,24	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21	0,20	0,20	0,20	0,19
5,5	0,19	0,20	0,22	0,26	0,29	0,32	0,34	0,35	0,35	0,33	0,31	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,20
6,0	0,20	0,20	0,22	0,25	0,29	0,31	0,33	0,35	0,34	0,33	0,31	0,28	0,27	0,26	0,26	0,25	0,24	0,24	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,21	0,20
Продолжительность поступления прямой солнечной радиации $z_n = 12$ часов																									
0,5	0,06	0,16	0,32	0,47	0,50	0,70	0,77	0,78	0,75	0,68	0,56	0,41	0,24	0,16	0,14	0,12	0,11	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07	0,06	0,06	0,06
1,0	0,10	0,17	0,27	0,33	0,44	0,57	0,63	0,66	0,65	0,61	0,54	0,44	0,31	0,24	0,21	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12	0,12	0,12	0,11
1,5	0,14	0,18	0,26	0,34	0,43	0,50	0,55	0,58	0,59	0,56	0,51	0,43	0,34	0,27	0,24	0,22	0,21	0,19	0,18	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,15
2,0	0,16	0,19	0,25	0,32	0,39	0,45	0,50	0,53	0,54	0,52	0,48	0,43	0,35	0,29	0,27	0,25	0,23	0,22	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17
2,5	0,18	0,20	0,25	0,31	0,37	0,42	0,46	0,49	0,50	0,49	0,46	0,41	0,36	0,30	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,19
3,0	0,20	0,21	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,47	0,41	0,47	0,45	0,41	0,36	0,31	0,29	0,27	0,26	0,25	0,24	0,24	0,22	0,22	0,21	0,20	0,20
3,5	0,21	0,22	0,25	0,30	0,34	0,38	0,42	0,44	0,45	0,45	0,42	0,40	0,38	0,32	0,30	0,28	0,27	0,25	0,25	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22
4,0	0,22	0,23	0,26	0,27	0,33	0,37	0,40	0,42	0,44	0,43	0,42	0,40	0,39	0,35	0,32	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23	0,23	0,23
4,5	0,23	0,23	0,26	0,29	0,36	0,36	0,39	0,41	0,42	0,42	0,41	0,38	0,35	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24
5,0	0,23	0,24	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,40	0,41	0,41	0,40	0,38	0,35	0,32	0,31	0,30	0,30	0,28	0,27	0,26	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24
5,5	0,24	0,24	0,26	0,29	0,32	0,34	0,37	0,39	0,40	0,40	0,39	0,38	0,35	0,32	0,32	0,30	0,30	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26	0,25
6,0	0,24	0,24	0,26	0,29	0,31	0,34	0,36	0,35	0,39	0,40	0,39	0,38	0,35	0,33	0,32	0,31	0,30	0,29	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26	0,25

Примечания.

1. z_n – время начала облучения прямой солнечной радиацией поверхности заполнения, ч, принимаемое по табл. 1.5.
2. Если $z_n > 24$, то значения находят для часа $z_n - 24$.

Для расчета коэффициента теплоусвоения поверхности стен, покрытий и полов вычисляется тепловая инерция каждого слоя и конструкции в целом по формуле

$$D = \sum_{i=1}^n R_{Ti} s_i = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} s_i, \quad (1.5)$$

где R_{Ti} – термическое сопротивление i -го слоя, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;

δ_i – толщина i -го слоя, м;

λ_i , s_i – соответственно коэффициент теплопроводности, $\text{Вт} / (\text{м} \cdot \text{°C})$, и теплоусвоения, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, материалов, принимаемые по таблице приложения А.1 [9] или из приложения А данного пособия.

Для стен, перекрытий и покрытий возможны следующие случаи:

а) если тепловая инерция первого (считая от внутренней поверхности ограждения) слоя больше единицы ($D_1 > 1$) или если ограждение однослойное, то коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности принимается равным коэффициенту теплоусвоения материала первого слоя, т. е.

$$Y_B = s_1;$$

б) тепловая инерция первого слоя меньше единицы ($D_1 < 1$), а первого и второго слоев больше единицы ($D_1 + D_2 > 1$). Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности рассчитывается по формуле

$$Y_B = \frac{R_{T1} s_1^2 + s_2}{1 + R_{T1} s_2}; \quad (1.6)$$

в) если тепловую инерцию, равную единице, дают в сумме n слоев, то рассчитывается коэффициент теплоусвоения $n - 1$ слоев по выражению

$$Y_{n-1} = \frac{R_{Tn-1} s_{n-1}^2 + s_n}{1 + R_{Tn-1} s_n}, \quad (1.7)$$

а затем коэффициент теплоусвоения $n - 2$ слоя

$$Y_{n-2} = \frac{R_{\Gamma n-2} s_{n-2}^2 + Y_{n-1}}{1 + R_{\Gamma n-2} Y_{n-1}} \quad (1.8)$$

и так далее до значения $Y_1 = Y_B$;

г) тепловая инерция ограждения меньше единицы ($D < 1$), то коэффициент теплоусвоения последнего слоя Y_n рассчитывается по выражению:

$$Y_n = \frac{R_{\Gamma n} s_n^2 + \alpha_H}{1 + R_{\Gamma n} \alpha_H}. \quad (1.9)$$

Для остекления

$$Y_{\text{ВП}} = \frac{1}{R_{\text{П}} - \frac{1}{\alpha_B}}, \quad (1.10)$$

где α_B – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, Вт/(м²·°С), для заполнения светового проема принимается $\alpha_B = 8$ Вт/(м²·°С).

Для внутренних однородных (однослойных) ограждений

$$Y_B = 0,5 R s^2. \quad (1.11)$$

Для полов:

а) покрытие (первый слой покрытия пола) $D_1 > 0,5$, то коэффициент теплоусвоения поверхности пола

$$Y_B = 2s_1;$$

б) если тепловую инерцию, равную 0,5, дают в сумме n слоев, то рассчитывается коэффициент теплоусвоения $n - 1$ слоя

$$Y_{n-1} = \frac{2R_{\Gamma n-1} s_{n-1}^2 + s_n}{0,5 + R_{\Gamma n-1} s_n}, \quad (1.12)$$

а затем коэффициент теплоусвоения $n - 2$ слоя

$$Y_{n-2} = \frac{4R_{Tn-2}s_{n-2}^2 + Y_{n-1}}{1 + R_{Tn-2}Y_{n-1}}$$

и так далее до значения $Y_1 = Y_{\text{в}}$.

Для неоднородных слоев конструкции определяется средний коэффициент теплоусвоения материалов

$$s_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^n s_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i},$$

где F_i – площадь, м^2 , занимаемая отдельными материалами с коэффициентами теплоусвоения s_i , $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, по поверхности слоев, м^2 .

Для воздушных прослоек $s = 0$.

Для оборудования коэффициент теплоусвоения поверхности

$$Y_{\text{об}} = 3,64 \cdot 10^{-5} c_{\text{об}} G_{\text{об}}, \quad (1.13)$$

где $G_{\text{об}}$ – масса оборудования, кг ;

$c_{\text{об}}$ – удельная теплоемкость материала оборудования, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$, для стали $c_{\text{об}} = 481,5 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

2. ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЯ ЧЕРЕЗ МАССИВНЫЕ ОГРАЖДЕНИЯ

Тепловой поток Q_1 , Вт, поступающий в помещение в расчетный час расчетных суток через массивное ограждение (наружную стену, покрытие), определяется по выражению

$$Q_1 = (q_{1cp} + \Delta q_1) \cdot F_1,$$

где q_{1cp} – средний за сутки удельный тепловой поток в помещение через массивное ограждение, Вт/м²;

Δq_1 – изменяющийся в течение суток удельный тепловой поток, Вт/м²;

F_1 – площадь массивного ограждения, м².

Средний за сутки удельный тепловой поток в помещение через массивное ограждение q_{1cp} , Вт/м²:

для вертикальных конструкций (наружных стен)

$$q_{1cp} = \frac{t_{н. cp} + \frac{\rho_1 I_{cp}^B}{\alpha_H} - t_B}{R_1};$$

горизонтальных конструкций (покрытий)

$$q_{1cp} = \frac{t_{н. cp} + \frac{\rho_1 I_{cp}^Г}{\alpha_H} - t_B}{R_1},$$

где ρ_1 – коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью ограждения, принимаемый по справочным данным, для некоторых видов материалов значения приведены в табл. 2.1;

I_{cp} – среднесуточный удельный тепловой поток суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации, Вт/м², поступающей на поверхность (для вертикальных поверхностей принято обозначение индексом «в», горизонтальных – «г»), зависящий от ориентации и географической широты строительства (табл. 2.2);

R_1 – сопротивление теплопередаче ограждения, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$, рассчитываемое по формуле:

$$R_1 = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_{\text{Г}i} + \frac{1}{\alpha_{\text{н}}},$$

где $\alpha_{\text{в}}$ – коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, принимаемый по табл. 5.4 [9] и равный для стен и потолков с незначительными выступами на поверхности $\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$;

$R_{\text{Г}i}$ – термическое сопротивление i -го слоя, $\text{м}^2 \cdot \text{°C} / \text{Вт}$;

$\alpha_{\text{н}}$ – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения, $\text{Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{°C})$, рассчитываемый по формулам (1.2) или (1.3).

Таблица 2.1

Коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности ограждающей конструкции [10]

Материал наружной поверхности ограждения	Коэффициент поглощения солнечной радиации ρ_1
Алюминий	0,5
Асбестоцементные листы	0,65
Бетоны	0,7
Дерево неокрашенное	0,6
Кирпич глиняный красный	0,7
Кирпич силикатный	0,6
Облицовка природным камнем белым	0,45
Окраска силикатная темно-серая	0,7
Окраска известковая белая	0,3
Плитка облицовочная керамическая	0,8
Плитка облицовочная белая	0,4
Рубероид с песчаной посыпкой	0,9
Сталь листовая, окрашенная белой краской	0,45
Сталь листовая, окрашенная темно-красной краской	0,8
Сталь листовая, окрашенная зеленой краской	0,6
Сталь кровельная оцинкованная	0,65
Штукатурка известковая темно-серая или терракотовая	0,7
Штукатурка цементная кремовая	0,4

Таблица 2.2

Среднесуточный удельный тепловой поток суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации $I_{\text{ср}}$, поступающей на вертикальную и горизонтальную поверхности [8]

Географическая широта	Среднесуточный удельный тепловой поток, Вт/м ² , поступающий на поверхность					
	вертикальную с ориентацией					горизонтальную
	С	СВ, СЗ	В, З	ЮВ, ЮЗ	Ю	
52 ° с.ш.	79	127	194	191	168	329
54 ° с.ш.	80	129	200	193	178	329
56 ° с.ш.	79	129	201	202	187	327

Изменяющийся в течение суток удельный тепловой поток Δq_I , Вт/м²:

для вертикальных конструкций (наружных стен)

$$\Delta q_I = \frac{\alpha_B \beta_{\text{пр}}}{v} \cdot \left(0,5 A_{\text{н}} \beta_2 + \frac{\rho_I^B A_{I_B}}{\alpha_H^B} \right);$$

для горизонтальных конструкций (покрытий)

$$\Delta q_I = \frac{\alpha_B \beta_{\text{пр}}}{v} \cdot \left(0,5 A_{\text{н}} \beta_2 + \frac{\rho_I^{\Gamma} A_{I_{\Gamma}}}{\alpha_H^{\Gamma}} \right),$$

где $\beta_{\text{пр}}$ – коэффициент наличия воздушной прослойки, при отсутствии прослойки $\beta_{\text{пр}} = 1$, при наличии $\beta_{\text{пр}} = 0,6$;

v – величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха;

β_2 – коэффициент, учитывающий гармоническое изменение температуры воздуха, который рассчитывается по формуле (1.1), при этом запаздывание температурных колебаний в ограждении ε , ч, определяется по формуле

$$\varepsilon \approx 2,7D - 0,4,$$

где D – суммарная тепловая инерция ограждения, определяемая по формуле [5];

A_{I_B} , A_{I_Γ} – удельный тепловой поток, Вт/м², разности суммарной солнечной радиации, поступающей на поверхность (с учетом периода запаздывания температурных колебаний) и среднесуточного удельного теплового потока суммарной радиации

$$A_{I_B} = (S_B + D_B) - I_{\text{ср}}^B;$$

$$A_{I_\Gamma} = (S_\Gamma + D_\Gamma) - I_{\text{ср}}^\Gamma.$$

Для расчета величины затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха v используется формула

$$v = 0,9e^{\frac{D}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(s_1 + \alpha_B)(s_2 + Y_1) \cdot \dots \cdot (s_n + Y_{n-1})(\alpha_n + Y_n)}{(s_1 + Y_1)(s_2 + Y_2) \cdot \dots \cdot (s_n + Y_n)\alpha_n}, \quad (2.1)$$

где $e = 2,718$ – основание натуральных логарифмов;

s_1, s_2, \dots, s_n – коэффициенты теплоусвоения материалов слоев ограждения, Вт/(м²·°C);

Y_1, Y_2, \dots, Y_n – коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности слоев ограждения, Вт/(м²·°C). Нумерация слоев ограждения ведется от внутренней поверхности.

При определении коэффициента теплоусвоения наружной поверхности слоя возможны следующие случаи:

1) если тепловая инерция слоя больше единицы ($D > 1$), то коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя ограждения принимается равным коэффициенту теплоусвоения материала этого слоя;

2) тепловая инерция слоя меньше единицы ($D < 1$), то коэффициент теплоусвоения наружной поверхности слоя (считая от внутренней поверхности ограждающей конструкции) рассчитывается следующим образом:

а) для первого слоя

$$Y_1 = \frac{R_{\Gamma 1} s_1^2 + \alpha_B}{1 + R_{\Gamma 1} \alpha_B}; \quad (2.2)$$

б) для i -го слоя

$$Y_i = \frac{R_{\Gamma i} s_i^2 + Y_{i-1}}{1 + R_{\Gamma i} Y_{i-1}}. \quad (2.3)$$

3. ПРИМЕР РАСЧЕТА

3.1. Исходные данные

Требуется рассчитать теплопоступления через заполнения световых проемов и массивные ограждения для промышленного здания – цеха технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей, расположенного в г. Минске (54° с. ш.) с ориентацией главного фасада на юго-запад. План здания представлен на рис. 3.1, разрез – на рис. 3.2.

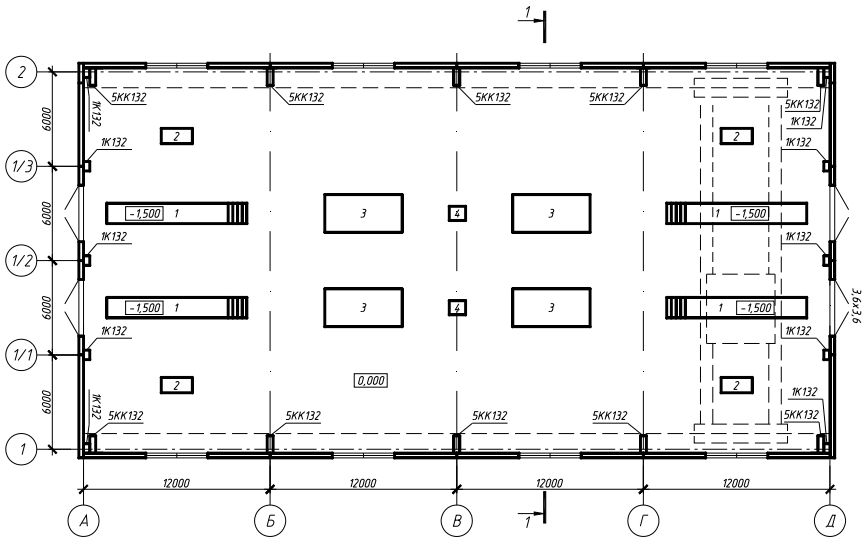


Рис. 3.1. План здания:

- 1 – смотровая яма; 2 – верстак для ремонта топливной аппаратуры;
3 – токарный станок; 4 – установка для мойки деталей

Конструкция заполнения световых проемов – однокамерный стеклопакет в одинарном поливинилхлоридном переплете (ПВХ профиль – пятикамерный толщиной 70 мм) размерами 1 800 × 2 000 × 24 мм, установленный по высоте и по ширине в два ряда. На внутреннее стекло в стеклопакете нанесено мягкое селективное покрытие.

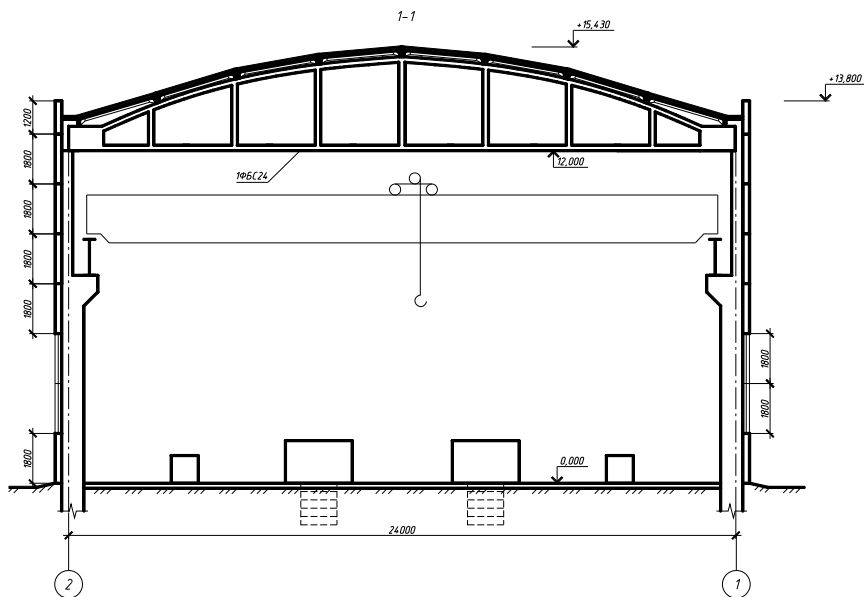


Рис. 3.2. Разрез здания

Конструкция стен (рис. 3.3) – трехслойные наружные стеновые панели, состоящие из двух слоев железобетона – внутреннего 1 и наружного 3 – с утеплителем из пенополистирольных плит 2.

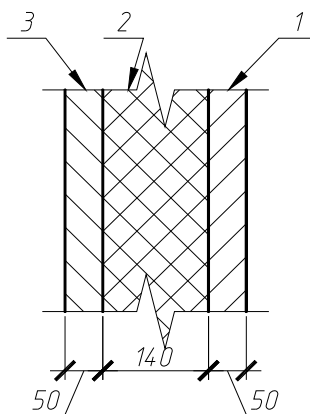


Рис. 3.3. Конструкция наружных стен:
1 – внутренний слой; 2 – пенополистирольные плиты; 3 – наружный слой

Совмещенное покрытие (рис. 3.4) состоит из железобетонной ребристой плиты 1, слоя пароизоляции 2 из битума, утеплителя 3 из плит минераловатных жестких, цементной стяжки 4 и гидроизоляции 5, выполненной из 4 слоев рубероида.

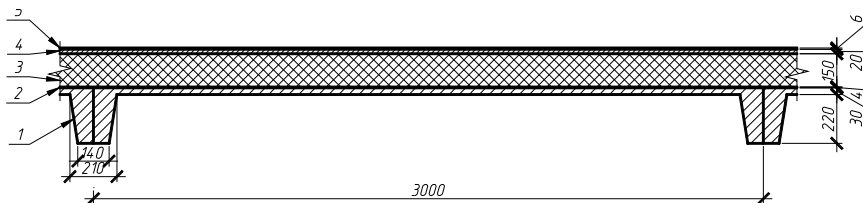


Рис. 3.4. Конструкция покрытия

Пол (рис. 3.5) – бетонный неутепленный на грунте, состоящий из бетонного покрытия 1 из бетона класса С12/15 и подготовки 2 из бетона класса С25/30.

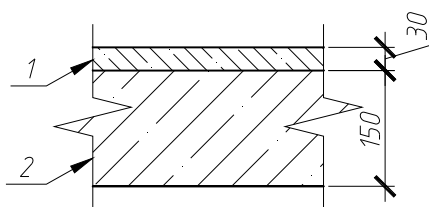


Рис. 3.5. Конструкция пола

Ворота (рис. 3.6) – распашные утепленные, состоящие из стальных обшивок 1 и 3 с расположенным между ними слоем утеплителя 2 – минеральной ваты.

Теплотехнические показатели материалов слоев ограждений приведены в табл. 3.1.

Колонны железобетонные марки 5КК132 толщиной 380 мм установлены в качестве опор под мостовой кран.

Колонны железобетонные марки 4КК132 толщиной 400 мм установлены для навески наружных стеновых панелей.

Фермы железобетонные марки 1ФБС24 толщиной 240 мм служат для устройства покрытия.

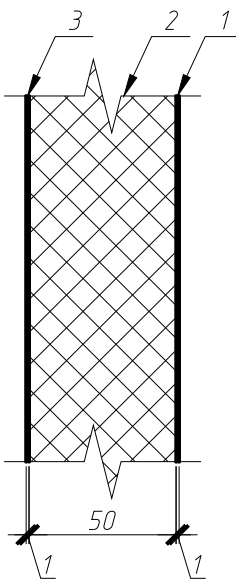


Рис. 3.6. Конструкция ворот

Теплотехнические показатели материалов слоев ограждений

Номер слоя	Наименование материала слоя	Плотность ρ , кг/м ³	Толщина δ , м	Значения коэффициентов		Термическое сопротивление R_{Γ} , м ² ·°С/Вт	Тепловая инерция D
				теплопроводности λ_s , Вт/(м·°С)	теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С)		
Наружная стена							
1	Железобетон	2 500	0,05	1,92	17,98	0,026	0,47
2	Плиты пенополистирольные	20	0,14	0,044	0,30	3,18	0,95
3	Железобетон	2 500	0,05	1,92	17,98	0,026	0,47
Суммарные значения для наружной стены							
Сопrotивление теплопередаче наружной стены							
Совмещенное покрытие							
1	Регристая плита	2 500	0,25	—	17,98	$R_{\Gamma} = 0,022$ м ² ·°С	0,40
2	Битумная пароизоляция	1 400	0,004	0,27	6,80	0,015	0,10
3	Плиты минераловатные	125	0,15	0,050	0,63	3,00	1,89
4	Цементная стяжка	1 700	0,02	0,76	9,60	0,026	0,25
5	Гидроизоляция из 4 слоев рубероида	600	0,006	0,17	3,53	0,035	0,12
Суммарные значения для совмещенного покрытия							
Сопrotивление теплопередаче совмещенного покрытия							
Пол							
1	Бетон	2 400	0,03	1,74	16,77	0,017	0,29
2	Бетон	2 400	0,15	1,74	16,77	0,086	1,44
Суммарные значения для пола							
Ворота							
1	Стальной лист	7 850	0,001	58	126,5	0	0
2	Плиты минераловатные	75	0,05	0,047	0,47	1,063	0,50
3	Стальной лист	7 850	0,001	58	126,5	0	0
Суммарные значения для ворот							
Сопrotивление теплопередаче ворот							
Суммарные значения для ворот							
Сопrotивление теплопередаче ворот							
Суммарные значения для ворот							
Сопrotивление теплопередаче ворот							

Окончание табл. 3.1

Номер слоя	Наименование материала слоя	Плотность ρ , кг/м ³	Толщина δ , м	Значения коэффициентов		Термическое сопротивление R_T , м ² ·°С/Вт	Тепловая инерция D
				теплопроводности λ , Вт/(м ² ·°С)	теплоусвоения s , Вт/(м ² ·°С)		
1	Железобетон	2 500	0,38	1,92	17,98	0,198	—
Колонна 5КК132							
Колонна 1К132							
1	Железобетон	2 500	0,40	1,92	17,98	0,208	—
Ферма 1ФБС24							
1	Железобетон	2 500	0,24	1,92	17,98	0,125	—

Примечания.

1. Значения сопротивлений теплопередаче наружной стены и ворот найдены при $\alpha_{вн} = 8,7$ Вт/(м²·°С) и $\alpha_{вн} = 23$ Вт/(м²·°С).
2. Значение сопротивления теплопередаче совмещенного покрытия найдено при $\alpha_{вн} = 8,7$ Вт/(м²·°С) и $\alpha_{вн} = 14,42$ Вт/(м²·°С).

3.2. Расчет теплопоступлений через заполнения световых проемов

Пример 1

Все расчеты теплопоступлений для каждого часа расчетных суток приведены в табл. 3.2.

Заполнения световых проемов в цеху вертикальные и имеют различную ориентацию: половина из них ориентирована на юго-запад, вторая половина – на северо-восток. Расчет производится для каждой ориентации.

Для расчета необходимы следующие данные:

– удельные тепловые потоки прямой и рассеянной солнечной радиации, прошедшей через одинарное остекление, $q_{п}$, $q_{р}$, Вт/м², для каждого часа расчетных суток принимаются по табл. 1.1 в зависимости от ориентации;

– высота стояния h , град, и азимут солнца A_c , град, принимается по табл. 1.3 в зависимости от ориентации и часа расчетных суток;

– размеры горизонтальных и вертикальных элементов затенения равны толщине ПВХ профиля заполнения, т. е. $L_{г} = L_{в} = 0,07$ м;

– расстояния до элементов затенения равны нулю, т. е. $a = c = 0$;

– коэффициент относительного проникновения солнечной радиации принимается по табл. 1.2, для однокамерного стеклопакета с одним стеклом с мягким селективным покрытием в ПВХ переплете $k_{отн} = 0,54$;

– сопротивление теплопередаче заполнения в соответствии с табл. 2 и примечанием к ней составляет $R_{п} = 0,59$ м²·°С;

– коэффициент затенения переплетами по табл. 1.2 составляет $\tau_2 = 0,80$;

– коэффициент поглощения солнечной радиации заполнением светового проема принимается $\rho_{п} = 0,4$;

– температура внутреннего воздуха принимается на 4 °С выше температуры наружного воздуха для параметров А. Для г. Минска в соответствии с табл. 1.5 $t_{н}^A = 21,2$ °С. Тогда температура внутреннего воздуха составит $t_{в} = 21,2 + 4 = 25,2$ °С;

– средняя температура наружного воздуха равна среднемесячной температуре июля по табл. 1.5, $t_{н. ср} = 17,8$ °С;

– суточная амплитуда температуры наружного воздуха в соответствии с табл. 1.5 составляет $A_{t_{н}} = 9,8$ °С;

– минимальная из средних скоростей ветра по румбам за июль, повторяемость которых составляет 16 % и более, принимается по табл. 1.5, $v = 2,2$ м/с;

– удельные тепловые потоки прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающие на вертикальную поверхность, S_b и D_b , Вт/м², для каждого часа расчетных суток принимаются по табл. 1.6 в зависимости от ориентации.

Для расчета коэффициента ассимиляции тепlopоступлений от солнечной радиации ограждающими конструкциями и оборудованием a_n определить показатель суммарного усвоения теплоты ограждающими конструкциями и оборудованием ΣY , Вт/°С, и показатель интенсивности конвективного теплообмена Λ , Вт/°С.

Рассчитать коэффициенты теплоусвоения внутренней поверхности ограждения и оборудования. Значения тепловой инерции для каждого слоя ограждения приведены в табл. 3.1.

Наружная стена.

Тепловая инерция первого слоя меньше единицы ($D_1 = 0,47 < 1$), а первого и второго слоев больше единицы ($D_1 + D_2 = 0,47 + 0,95 = 1,42 > 1$). Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности рассчитывается по формуле (1.6):

$$Y_b^{HC} = \frac{0,026 \cdot 17,98^2 + 0,30}{1 + 0,026 \cdot 0,30} = 8,64 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С}).$$

Площадь наружной стены $F^{HC} = 1717,96$ м².

Совмещенное покрытие.

Тепловую инерцию, равную единице, дают в сумме три слоя ($D_1 + D_2 + D_3 = 0,40 + 0,10 + 1,89 = 2,39 > 1$), то рассчитывается коэффициент теплоусвоения второго слоя по выражению (1.7), а первого, равного коэффициенту теплоусвоения внутренней поверхности, по формуле (1.8):

$$Y_2 = \frac{0,015 \cdot 6,80^2 + 0,63}{1 + 0,015 \cdot 0,63} = 1,31 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°С});$$

$$Y_1 = Y_B^{\text{СП}} = \frac{0,022 \cdot 17,98^2 + 1,31}{1 + 0,022 \cdot 1,31} = 8,19 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$F^{\text{СП}} = 1215 \text{ м}^2.$$

Заполнение световых проемов.

Коэффициент теплоусвоения рассчитывается по формуле (1.10):

$$Y_{\text{ВП}} = \frac{1}{0,59 - \frac{1}{8}} = 2,15 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$F_{\text{П}} = 115,2 \text{ м}^2.$$

Ворота.

Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности определяется по формуле (1.9):

$$Y_B^{\text{В}} = \frac{1,063 \cdot 0,47^2 + 23}{1 + 1,063 \cdot 23} = 0,91 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С});$$

$$F_B = 51,84 \text{ м}^2.$$

Пол.

Тепловую инерцию, равную 0,5, дают в сумме два слоя ($D_1 + D_2 = 0,29 + 1,45 = 1,74 > 0,5$), то коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности пола рассчитывается по формуле (1.12):

$$Y_B^{\text{П}} = \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 16,77^2 + 16,77}{0,5 + 0,017 \cdot 16,77} = 33,54 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

$$F^{\text{П}} = 1152 \text{ м}^2.$$

Таблица 3.2

Расчет теплопоступлений через заполнение световых проемов

Параметр	Значение параметра для часа расчетных суток																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
Заполнение световых проемов с ориентацией на ЮЗ																				
$q_{дв}^B$, Вт/м ²	0	0	0	0	0	0	18	163	301	395	454	464	411	280	125	14				
$q_{пр}^B$, Вт/м ²	7	26	43	54	64	67	72	77	83	95	106	111	108	91	55	35				
$L_{пр, м}$	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07				
$a, м$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
$H, м$	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8				
$\beta, град$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2				
$K_{обл, в}$	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981				
$L_{обл, м}$	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07				
$C, м$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
$B, м$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
$\gamma, град$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
$K_{обл, г}$	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966				
$K_{обл}$	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948				
$h, град$	4	13	21	30	37	45	53	56	56	56	53	45	37	30	21	13				
$A_{св, град}$	120	109	96	84	70	55	35	13	13	13	35	55	70	84	96	109				
$A_{св, ос, град}$	165	154	141	129	115	100	80	58	32	10	10	25	39	51	64	75				
$\beta, град$	-85,9	-75,6	-63,7	-47,5	-29,3	-9,9	7,5	19,7	29,8	36,6	44,6	50,3	53,4	58,6	62,2	74,9				
$K_{инс, в}$	0	0	0	0	0	0,565	0,841	0,912	0,942	0,955	0,952	0,944	0,934	0,909	0,86					
$K_{горн}$	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54				
T_2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8				
$q_{пр}, Вт/м^2$	2,9	10,6	17,6	22,1	26,2	27,4	33,9	90,8	152,6	199,6	230,7	236,3	211,8	150,2	71,6	19,5				
$\Delta T_{пр, ч}$	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10				
$Z_{об, ч}$	18	19	20	21	22	23	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9				
$\Sigma T//\Lambda$	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9				
a_1	0,23	0,22	0,22	0,21	0,21	0,2	0,198	0,2	0,22	0,252	0,29	0,312	0,332	0,35	0,342	0,334				
$S_{об}, Вт/м^2$	0	0	0	0	0	0	77	250	393	485	530	535	473	331	167	12				
$D_{об}, Вт/м^2$	12	37	58	73	85	92	99	105	116	131	149	154	149	122	76	24				

Параметр	Значение параметра для часа расчетных суток																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
$t_{н,ср}, ^\circ\text{C}$	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8				
$t_{н,ср}, ^\circ\text{C}$	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8				
β_2	-0,866	-0,707	-0,5	-0,259	0	0,259	0,5	0,707	0,866	0,966	1	0,966	0,866	0,707	0,5	0,259				
$v, \text{м/с}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2				
$u_{нп}, \text{Вт/м}^2\cdot^\circ\text{C}$	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23				
$R_{п}$	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4				
$t_{н,вн}, ^\circ\text{C}$	13,7	14,8	16,1	17,5	18,9	20,3	22,2	25,6	28,6	30,6	31,7	31,7	30,2	27,2	23,4	19,5				
$t_{вн}, ^\circ\text{C}$	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2				
$R_{нп}, \text{м}^2\cdot^\circ\text{C/Вт}$	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59				
$q_{нп}, \text{Вт/м}^2$	-19,5	-17,6	-15,4	-13,1	-10,7	-8,3	-5,1	0,8	5,8	9,2	11	11	8,5	3,4	-3,1	-9,7				
$F_{нп}, \text{м}^2$	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6				
$Q_{нп}, \text{Вт}$	-1085	-879	-664	-487	-299	-162	93	1128	2268	3427	4487	4880	4540	3224	1232	-184				
Заполнение световых проемов с ориентацией на СВ																				
$q_{нп}, \text{Вт/м}^2$	83	323	396	341	185	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
$q_{нп}, \text{Вт/м}^2$	16	72	96	102	92	75	66	62	61	60	59	57	53	44	29	7				
$L_{нп}, \text{м}$	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07				
$\alpha, \text{м}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
$H, \text{м}$	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8				
$\beta_{нп}, \text{град}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2				
$K_{квбл, в}$	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981	0,981				
$L_{квбл}, \text{м}$	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07				
$c, \text{м}$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
$B, \text{м}$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
$U_{п}, \text{град}$	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
$K_{квбл, г}$	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966	0,966				
$K_{квбл}$	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948	0,948				
$h, \text{град}$	4	13	21	30	37	45	53	56	56	53	45	37	30	21	13	4				
$A_{с}, \text{град}$	120	109	96	84	70	55	35	13	13	35	55	70	84	96	109	120				
$A_{с.о}, \text{град}$	15	26	39	51	65	80	100	122	122	100	80	65	51	39	26	15				

Параметр	Значение параметра для часа расчетных суток																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
$t_{в, \text{град}}$	85,9	75,6	63,7	47,5	29,3	9,9	-7,5	-19,7	-19,7	-7,5	9,9	29,3	47,5	63,7	75,6	85,9				
$K_{инс.в}$	0,988	0,973	0,953	0,923	0,861	0,623	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
$K_{корп.в}$	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54	0,54				
t_2	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8				
$q_{пр}, \text{Вт/м}^2$	42	165,3	202,3	177,7	106,5	39,9	27	25,4	25	24,6	24,2	23,3	21,7	18	11,9	2,9				
$\Delta z_{пр}, \text{ч}$	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6				
$z_{ин.ч}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15				
$\Sigma \Pi / \Lambda$	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9	5,9				
a_n	0,11	0,12	0,162	0,21	0,242	0,242	0,22	0,18	0,17	0,16	0,16	0,158	0,15	0,15	0,14	0,14				
$S_{об}, \text{Вт/м}^2$	149	366	454	416	271	105	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
$D_{об}, \text{Вт/м}^2$	41	95	130	142	128	105	91	84	81	81	79	78	72	59	37	12				
$t_{в, \text{ср}}, \text{°C}$	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8				
$A_{тв}, \text{°C}$	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8				
β_2	-0,866	-0,707	-0,5	-0,259	0	0,259	0,5	0,707	0,866	0,966	1	0,966	0,866	0,707	0,5	0,259				
$v, \text{м/с}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2				
$a_{тв}, \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23				
Π_{II}	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4				
$t_{в, \text{вср}}, \text{°C}$	16,1	20,5	23,1	23,7	22,7	21,4	21,5	22,4	23,1	23,6	23,7	23,6	23	22	20,7	19,2				
$t_{в}, \text{°C}$	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2				
$R_{тв}, \text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59	0,59				
$q_{пр}, \text{Вт/м}^2$	-15,4	-8	-3,6	-2,5	-4,2	-6,4	-6,3	-4,7	-3,6	-2,7	-2,5	-2,7	-3,7	-5,4	-7,6	-10,2				
$F_{тв}, \text{м}^2$	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6	57,6				
$Q_{тв}, \text{Вт}$	-621	682	1680	2005	1243	188	-21	-7	37	71	79	57	-26	-156	-342	-564				
Всего по световым потокам $Q_{л}, \text{Вт}$	-1706	-197	1016	1518	944	26	72	1079	2305	3498	4566	4937	4514	3068	890	-748				

Колонны и фермы, находящиеся в цеху, рассчитываются как однослойные конструкции по формуле (1.11).

Для колонн:

К1 – колонна типа 5КК132, площадь поверхности одной колонны 22 м², количество колонн – 10

$$Y_B^{K1} = 0,5 \cdot 0,198 \cdot 17,98^2 = 32 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$F^{K1} = 220 \text{ м}^2.$$

К2 – колонна типа 1К132, площадь поверхности одной колонны 24 м², количество колонн – 10

$$Y_B^{K2} = 0,5 \cdot 0,208 \cdot 17,98^2 = 33,62 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$F^{K2} = 240 \text{ м}^2.$$

Для ферм 1ФБС24 (площадь поверхности одной фермы 55 м², количество ферм – 5)

$$Y_B^\Phi = 0,5 \cdot 0,125 \cdot 17,98^2 = 20,21 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C});$$

$$F^\Phi = 275 \text{ м}^2.$$

Для расчета оборудования необходимы следующие данные:

– мостовой кран грузоподъемностью 20 т: масса $G_{кр} = 24\,300$ кг, площадь поверхности $F_{кр} = 500$ м², материал – сталь;

– токарный станок: масса $G_{т.ст} = 7\,850$ кг, площадь поверхности $F_{т.ст} = 100$ м², материал – сталь;

– установка для мойки деталей: масса $G_M = 80$ кг, площадь поверхности $F_M = 10$ м²; материал – сталь;

– верстак для ремонта топливной арматуры: масса $G_{вер} = 50$ кг, площадь поверхности $F_{вер} = 5$ м²; материал – сталь.

Тогда по формуле (1.13) имеем

$$Y_{об} = 3,64 \cdot 10^{-5} \cdot 481,5 \cdot (24\,300 + 7\,850 + 80 + 50) = 565,76 \text{ Вт}/^\circ\text{C}.$$

В табл. 3.3 приведен расчет показателя суммарного усвоения теплоты ограждениями и оборудованием.

Таблица 3.3

Определение показателя суммарного усвоения теплоты ограждающими конструкциями и оборудованием ΣY

Вид ограждения или оборудования	Коэффициент теплоусвоения внутренней поверхности $Y_{в}$, Вт/(м ² ·°С)	Площадь поверхности F , м ²	Показатель суммарного теплоусвоения ограждающими конструкциями и оборудованием ΣY , Вт/°С
Наружная стена	8,64	1717,96	14843,2
Совмещенное покрытие	8,19	1 215	9950,9
Заполнение световых проемов	2,15	115,2	247,7
Пол	33,54	1152	38638,1
Ворота	0,91	51,84	47,2
Колонны 5КК132	32	220	7040
Колонны 1К132	33,62	240	8068,8
Фермы 1ФБС24	20,21	275	5557,8
Оборудование		615	565,76
Итого по цеху		5 602	84 959,46

Показатель интенсивности конвективного теплообмена Λ , Вт/°С, определяется по формуле (1.4):

$$\Lambda = 2,55 \cdot 5602 = 14285,1 \text{ Вт/°С.}$$

Таким образом, значение коэффициента ассимиляции теплопоступлений от солнечной радиации ограждающими конструкциями и оборудованием $a_{п}$ выбирается исходя из значения критерия $\Sigma Y/\Lambda = 84959,46/14285,1 = 5,9$.

Для заполнений световых проемов с юго-западной ориентацией находим, что поступать прямая солнечная радиация начнет в $z_{и} = 11$ ч, а закончит в 20 часу суток, т. е. продолжительность поступления прямой солнечной радиации $z_{п} = 10$ ч. Определять коэффициент начинаем для часа $z_{и} = 11$, а затем для последующих $z_{и} + 1 = 12$ ч, $z_{и} + 2 = 13$ и т. д.

Для заполнений световых проемов с юго-западной ориентацией прямая радиация начинает поступать в $z_{\text{н}} = 5$ ч, а закончит в 10-м часу суток, т. е. $z_{\text{п}} = 6$ ч.

3.3. Расчет теплопоступлений через стены и ворота

Пример 2

Все расчеты теплопоступлений для каждого часа расчетных суток через вертикальные ограждения (наружные стены и ворота) приведены в табл. 3.4.

Наружные стены в цеху имеют различную ориентацию: юго-запад, юго-восток, северо-восток и северо-запад. Ворота ориентированы на юго-восток и северо-запад. Расчет производится для каждой ориентации.

Для расчета необходимы следующие данные:

– параметры наружного и внутреннего воздуха ($t_{\text{н. ср}}$, $At_{\text{н}}$, $t_{\text{в}}$, v) выбираются такими же, как и для заполнений световых проемов;

– $S_{\text{в}}$ и $D_{\text{в}}$ для каждого часа принимаются по табл. 6 в зависимости от ориентации;

– коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью ограждения ρ_1 принимается по табл. 2.1, для стен (бетонная поверхность) $\rho_1 = 0,7$, для ворот (сталь листовая, окрашенная зеленой краской) $\rho_1 = 0,6$;

– среднесуточный тепловой поток суммарной солнечной радиации $I_{\text{ср}}$, Вт/м², принимается в зависимости от ориентации ограждения по табл. 9;

– сопротивление теплопередаче ограждения принимается из табл. 3.1, для стен $R_1 = 3,39$ м²·°С/Вт, для ворот $R_1 = 1,22$ м²·°С/Вт;

– тепловая инерция ограждения принимается из табл. 3.1, для стен $D = 1,89$, для ворот $D = 0,50$;

– коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стен и ворот $\alpha_{\text{в}} = 8,7$ Вт/(м²·°С);

– коэффициент наличия воздушной прослойки равен $\beta_{\text{пр}} = 1$ (отсутствие прослойки).

Для расчета величины затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха v используется формула (2.1), предварительно рассчитав коэффициенты теплоусвоения наружной поверхности слоев ограждения Y , Вт/(м²·°С), по формулам (2.2) и (2.3).

Таблица 3.4

Расчет теплоступлений через вертикальные массивные ограждения

Параметр	Значение параметра для часа расчетных суток															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Наружная стена с ориентацией на ЮЗ																
$t_{н,ср}, ^\circ\text{C}$	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
ρ_1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
$I_{сп}^B, \text{Вт/М}^2$	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193
$v, \text{м/с}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
$\alpha_{н,в}^B, \text{Вт/(М}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
$t_{вс}, ^\circ\text{C}$	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
$R_{тв}, \text{М}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39
$q_{н,в}^B, \text{Вт/М}^2$	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5
$\alpha_{вв}, \text{Вт/(М}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7
$\beta_{вв}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
N	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2
$A_{н,в}, ^\circ\text{C}$	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8
D	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89
$E, \text{ч}$	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7
β_2	0,182	0,431	0,649	0,824	0,943	0,997	0,983	0,903	0,76	0,566	0,334	0,078	-0,182	-0,431	-0,649	-0,824
$S_{н,в}, \text{Вт/М}^2$	0	0	0	0	0	0	77	250	393	485	530	555	473	331	167	12
$D_{н,в}, \text{Вт/М}^2$	12	37	58	73	85	92	99	105	116	131	149	154	149	122	76	24
$A_{н,в}^B, \text{Вт/М}^2$	-181	-156	-135	-120	-108	-101	-17	162	316	423	486	496	429	260	50	-157
$\Delta t_{н,в}^B, \text{Вт/М}^2$	-0,6	-0,4	-0,1	0,1	0,2	0,3	0,6	1,3	1,9	2,2	2,3	2,2	1,7	0,8	-0,2	-1,2
$F_{н,в}, \text{М}^2$	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4
$Q_{н,в}^{ЮЗ}, \text{Вт}$	-623	-510	-340	-227	-170	-113	57	453	793	963	1020	963	680	170	-396	-963
Наружная стена с ориентацией на ЮВ																
$t_{н,ср}, ^\circ\text{C}$	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8
ρ_1	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
$I_{сп}^B, \text{Вт/М}^2$	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193
$v, \text{м/с}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
$\alpha_{н,в}^B, \text{Вт/(М}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23

Параметр	Значение параметра для часа расчетных суток																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
$t_{вн}, ^\circ\text{C}$	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2				
$R_{1n}, \text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39				
$t_{1ср}, \text{Вт}/\text{M}^2$	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5	-0,5				
$\alpha_{вн}, \text{Вт}/(\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7				
$\beta_{вн}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
v	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2				
$A_{1н}, ^\circ\text{C}$	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8				
D	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89				
$e, \text{ч}$	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7				
β_2	0,182	0,431	0,649	0,824	0,943	0,997	0,983	0,903	0,76	0,566	0,334	0,078	-0,182	-0,431	-0,649	-0,824				
$S_{вн}, \text{Вт}/\text{M}^2$	12	167	331	473	535	530	485	393	250	77	0	0	0	0	0	0				
$D_{вн}, \text{Вт}/\text{M}^2$	24	76	122	149	154	149	131	116	105	99	92	85	73	58	37	12				
$A_{1вн}, \text{Вт}/\text{M}^2$	-157	50	260	429	496	486	423	316	162	-17	-101	-108	-120	-135	-156	-181				
$\Delta t_{1вн}, \text{Вт}/\text{M}^2$	-0,5	0,5	1,6	2,4	2,8	2,8	2,5	2	1,2	0,3	-0,2	-0,4	-0,6	-0,9	-1,1	-1,3				
$F_{1н}, \text{M}^2$	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58				
$Q_{1н}^{\text{пов}}, \text{Вт}$	-293	0	322	556	673	673	585	439	205	-59	-205	-263	-322	-410	-468	-527				
Наружная стена с ориентацией на СВ																				
$t_{н, \text{сп}}, ^\circ\text{C}$	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8				
$P_{1н}$	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7				
$I_{1н}^{\text{в}}, \text{Вт}/\text{M}^2$	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129				
$U_{1н}, \text{M}/\text{с}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2				
$\alpha_{1н}^{\text{в}}, \text{Вт}/(\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23				
$t_{1н}, ^\circ\text{C}$	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2				
$R_{1н}, \text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39				
$t_{1ср}, \text{Вт}/\text{M}^2$	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1				
$\alpha_{вн}, \text{Вт}/(\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7				
$\beta_{вн}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
v	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2				
$A_{1н}, ^\circ\text{C}$	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8				

Параметр	Значение параметра для часа расчетных суток																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
D	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89				
$\varepsilon, \text{ч}$	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7				
β_2	0,182	0,431	0,649	0,824	0,943	0,997	0,983	0,903	0,76	0,566	0,334	0,078	-0,182	-0,431	-0,649	-0,824				
$S_{\text{в}}, \text{Вт/м}^2$	149	366	454	416	271	105	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
$D_{\text{в}}, \text{Вт/м}^2$	41	95	130	142	128	105	91	84	81	81	79	78	72	59	37	12				
$A_{\text{в}}, \text{Вт/м}^2$	61	332	455	429	270	81	-35	-45	-48	-48	-50	-51	-57	-70	-92	-117				
$\Delta t_{\text{в}}, \text{Вт/м}^2$	0,4	1,7	2,4	2,4	1,8	1	0,5	0,4	0,3	0,2	0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1,1				
$F_{\text{в}}, \text{м}^2$	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4	566,4				
$Q_{\text{в}}, \text{Вт}$	-340	396	793	793	453	0	-283	-340	-396	-453	-566	-680	-793	-906	-1020	-1189				
Наружная стена с ориентацией на СЗ																				
$t_{\text{в}, \text{ср}}, \text{°C}$	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8				
Pl	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7				
$I_{\text{ср}}, \text{Вт/м}^2$	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129				
$U, \text{м/с}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2				
$u_{\text{в}}, \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23				
$t_{\text{в}}, \text{°C}$	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2				
$R_{\text{в}}, \text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39	3,39				
$q_{\text{вср}}, \text{Вт/м}^2$	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1				
$q_{\text{в}}, \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7				
$\beta_{\text{вср}}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
v	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2	62,2				
$A_{\text{в}}, \text{°C}$	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8				
D	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89	1,89				
$\varepsilon, \text{ч}$	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7	4,7				
β_2	0,182	0,431	0,649	0,824	0,943	0,997	0,983	0,903	0,76	0,566	0,334	0,078	-0,182	-0,431	-0,649	-0,824				
$S_{\text{в}}, \text{Вт/м}^2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	105	271	416	454	366	149				
$D_{\text{в}}, \text{Вт/м}^2$	12	37	59	72	78	79	81	81	84	91	105	128	142	130	95	41				
$A_{\text{в}}, \text{Вт/м}^2$	-117	-92	-70	-57	-51	-50	-48	-48	-45	-35	81	270	429	455	332	61				
$\Delta t_{\text{в}}, \text{Вт/м}^2$	-0,4	-0,1	0,1	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,3	0,2	0,6	1,2	1,7	1,6	1	-0,3				

Параметр	Значение параметра для часа расчетных суток																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
$F_{1, \text{м}^2}$	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58	292,58				
$Q_{1, \text{Вт}}$	-410	-322	-263	-205	-176	-146	-146	-176	-205	-234	-117	59	205	176	0	-380				
Всего по стенам $Q_{1, \text{Вт}}$	-1666	-436	512	917	780	414	213	376	397	217	132	79	-230	-970	-1884	-3059				
Ворота с ориентацией на ЮВ																				
$t_{\text{вн}, \text{°C}}$	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8				
ρ_l	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6				
$I_{\text{ст}, \text{Вт/м}^2}$	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193	193				
$v, \text{м/с}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2				
$\alpha_{\text{ст}}, \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23				
$t_{\text{вн}}, \text{°C}$	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2				
$R_1, \text{м}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22				
$q_{\text{ст}}, \text{Вт/м}^2$	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9	-1,9				
$\alpha_{\text{вн}}, \text{Вт/(м}^2 \cdot \text{°C)}$	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7				
$\beta_{\text{вн}}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
v	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1				
$A_{\text{вн}}, \text{°C}$	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8				
D	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5				
$\epsilon, \text{ч}$	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95				
β_2	-0,716	-0,511	-0,271	-0,013	0,246	0,489	0,698	0,859	0,962	1	0,969	0,872	0,716	0,511	0,271	0,013				
$S_{\text{вн}}, \text{Вт/м}^2$	12	167	331	473	535	530	485	393	250	77	0	0	0	0	0	0				
$D_{\text{вн}}, \text{Вт/м}^2$	24	76	122	149	154	149	131	116	105	99	92	85	73	58	37	12				
$A_{\text{лв}}, \text{Вт/м}^2$	-157	50	260	429	496	486	423	316	162	-17	-101	-108	-120	-135	-156	-181				
$M_{\text{лв}}, \text{Вт/м}^2$	-7,3	-1,1	5,2	10,6	13,5	14,4	13,8	11,9	8,5	4,3	2	1,4	0,4	-1	-2,6	-4,5				
$F_1, \text{м}^2$	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92				
$Q_{\text{вн}}, \text{Вт}$	-238	-78	86	226	301	324	308	259	171	62	3	-13	-39	-75	-117	-166				
Ворота с ориентацией на СЗ																				
$t_{\text{вн}, \text{°C}}$	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8				
ρ_l	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6				

Параметр	Значение параметра для часа расчетных суток																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
$I_{\text{вн}}^{\text{в}}, \text{Вт/М}^2$	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129	129				
$U, \text{М/с}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2				
$\alpha_{\text{вн}}^{\text{в}}, \text{Вт/М}^2 \cdot \text{°C}$	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23				
$t_{\text{вн}}, \text{°C}$	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2				
$R_1, \text{М}^2 \cdot \text{°C/Вт}$	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22				
$I_{\text{вн}}^{\text{в}}, \text{Вт/М}^2$	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3	-3,3				
$\alpha_{\text{вн}}, \text{Вт/М}^2 \cdot \text{°C}$	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7				
$\beta_{\text{вн}}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
v	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1	9,1				
$A_{\text{вн}}, \text{°C}$	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8				
D	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5				
$\varepsilon, \text{ч}$	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95				
β_2	-0,716	-0,511	-0,271	-0,013	0,246	0,489	0,698	0,859	0,962	1	0,969	0,872	0,716	0,511	0,271	0,013				
$S_{\text{вн}}, \text{Вт/М}^2$	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	105	271	416	454	366	149				
$D_{\text{вн}}, \text{Вт/М}^2$	12	37	59	72	78	79	81	81	84	91	105	128	142	130	95	41				
$A_{\text{вн}}, \text{Вт/М}^2$	-117	-92	-70	-57	-51	-50	-48	-48	-45	-35	81	270	429	455	332	61				
$\Delta t_{\text{вн}}, \text{Вт/М}^2$	-6,3	-4,7	-3	-1,5	-0,1	1	2,1	2,8	3,4	3,8	6,6	10,8	14,1	13,7	9,5	1,6				
$F_{\text{вн}}, \text{М}^2$	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92	25,92				
$Q_{\text{вн}}^{\text{в}}, \text{Вт}$	-249	-207	-163	-124	-88	-60	-31	-13	3	13	86	194	280	270	161	-44				
Всего по воротам $Q_{\text{вн}}^{\text{в}}, \text{Вт}$	-487	-285	-77	102	213	264	277	246	174	75	89	181	241	195	44	-210				
Всего по вертикальным ограждениям $Q_{\text{вн}}^{\text{в}}, \text{Вт}$	-2153	-721	435	1019	993	678	490	622	571	292	221	260	11	-775	-1840	-3269				

Рассчитывается величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха для наружных стен.

Для первого слоя – железобетона ($D_1 = 0,47 < 1$)

$$Y_1 = \frac{0,026 \cdot 17,98^2 + 8,7}{1 + 0,026 \cdot 8,7} = 13,95 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Для второго слоя – плит пенополистирольных ($D_2 = 0,95 < 1$)

$$Y_2 = \frac{3,18 \cdot 0,30^2 + 13,95}{1 + 3,18 \cdot 13,95} = 0,32 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Для третьего слоя – железобетона ($D_3 = 0,47 < 1$)

$$Y_3 = \frac{0,026 \cdot 17,98^2 + 0,32}{1 + 0,026 \cdot 0,32} = 8,65 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждения рассчитывается по формуле (1.2) при $v = 2,2 \text{ м}/\text{с}$:

$$\alpha_H^B = 5,8 + 11,6 \cdot \sqrt{2,2} = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Тогда величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха для наружных стен:

$$v = 0,9e^{\frac{1,89}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(17,98 + 8,7) \cdot (0,30 + 13,95) \cdot (17,98 + 0,32) \cdot (23 + 8,65)}{(17,98 + 13,95) \cdot (0,30 + 0,32) \cdot (17,98 + 8,65) \cdot 23} \approx 62,2.$$

Для ворот расчет упрощается, так как их можно считать однослойными ввиду незначительности термического сопротивления и тепловой инерции стальных листов.

Для плит минераловатных ($D = 0,50 < 1$)

$$Y = \frac{1,063 \cdot 0,47^2 + 8,7}{1 + 1,063 \cdot 8,7} = 0,87 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

При $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ и $\alpha_n^b = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$ величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха для ворот

$$v = 0,9e^{\frac{0,50}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(0,47 + 8,7) \cdot (23 + 0,87)}{(0,47 + 0,87) \cdot 23} \approx 9,1.$$

3.4. Расчет тепlopоступлений через покрытие

Пример 3

Расчет тепlopоступлений для каждого часа расчетных суток приведен в табл. 3.5.

Для расчета необходимы следующие данные:

– параметры наружного и внутреннего воздуха ($t_{н. \text{ср}}$, A_{t_n} , t_b , v) выбираются такими же, как и для заполнений световых проемов;

– удельные тепловые потоки прямой и рассеянной солнечной радиации, поступающие на горизонтальную поверхность, S_r и D_r , $\text{Вт}/\text{м}^2$, для каждого часа принимаются по табл. 1.6;

– коэффициент поглощения солнечной радиации поверхностью ρ_1 принимается по табл. 2.1, для покрытия (рубероид) $\rho_1 = 0,9$;

– среднесуточный удельный тепловой поток суммарной солнечной радиации $I_{\text{ср}}$, $\text{Вт}/\text{м}^2$, принимается по табл. 2.2, для горизонтальных конструкций $I_{\text{ср}} = 328 \text{ Вт}/\text{м}^2$;

– сопротивление теплопередаче ограждения и тепловая инерция принимаются из табл. 3.1, $R_1 = 3,28 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{С}/\text{Вт}$, $D = 2,76$;

– коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности покрытия $\alpha_b = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С})$;

– коэффициент наличия воздушной прослойки равен $\beta_{\text{пр}} = 1$ (отсутствие прослойки).

Расчет величины затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха v аналогичен расчету для стены.

Для первого слоя – железобетонной плиты ($D_1 = 0,40 < 1$)

$$Y_1 = \frac{0,022 \cdot 17,98^2 + 8,7}{1 + 0,022 \cdot 8,7} = 13,27 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Для второго слоя – битумной пароизоляции ($D_2 = 0,10 < 1$)

$$Y_2 = \frac{0,015 \cdot 6,80^2 + 13,27}{1 + 0,015 \cdot 13,27} = 11,65 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Для третьего слоя – минераловатных плит ($D_3 = 1,89 > 1$)

$$Y_3 = s_3 = 0,63 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Для четвертого слоя – цементной стяжки ($D_4 = 0,25 < 1$)

$$Y_4 = \frac{0,026 \cdot 9,60^2 + 0,63}{1 + 0,026 \cdot 0,63} = 2,98 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Для пятого слоя – рубероида ($D_5 = 0,12 < 1$)

$$Y_5 = \frac{0,035 \cdot 3,53^2 + 2,98}{1 + 0,035 \cdot 2,98} = 3,09 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Для расчета суммарного коэффициента теплоотдачи наружной поверхности ограждения используется формула (1.3) при $\nu = 2,2$ м/с:

$$\alpha_H^\Gamma = 8,7 + 2,6 \cdot 2,2 = 14,42 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{С}).$$

Тогда величина затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха

$$\begin{aligned} \nu &= 0,9e^{\frac{2,76}{\sqrt{2}}} \cdot \frac{(17,98 + 8,7) \cdot (6,80 + 13,27) \cdot (0,63 + 11,65)}{(17,98 + 13,27) \cdot (6,80 + 11,65) \cdot (0,63 + 0,63)} \times \\ &\times \frac{(9,60 + 0,63) \cdot (3,53 + 2,98) \cdot (14,42 + 3,09)}{(9,60 + 2,98) \cdot (3,53 + 3,09) \cdot 14,42} \approx 55,7. \end{aligned}$$

Таблица 3.5

Расчет теплопоступлений через покрытие

Параметр	Значение параметра для часа расчетных суток																			
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20				
$t_{в, \text{сп}}, ^\circ\text{C}$	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8				
ρ_1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9				
$I_{\text{сп}}^1, \text{Вт/М}^2$	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329	329				
$\nu, \text{М/с}$	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2				
$\alpha_{\text{в}}, \text{Вт/(М}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42	14,42				
$t_{\text{в}}, ^\circ\text{C}$	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2				
$R_0, \text{М}^2 \cdot ^\circ\text{C/Вт}$	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28	3,28				
$q_{\text{теп}}, \text{Вт/М}^2$	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4				
$\alpha_{\text{вн}}, \text{Вт/(М}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7	8,7				
$\beta_{\text{вн}}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
ν	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7	55,7				
$At_{\text{вн}}, ^\circ\text{C}$	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8	9,8				
D	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76	2,76				
$\epsilon, \text{ч}$	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05	7,05				
β_2	0,716	0,872	0,969	1	0,962	0,859	0,698	0,489	0,246	-0,013	-0,271	-0,511	-0,716	-0,872	-0,969	-1				
$S_{\text{вн}}, \text{Вт/М}^2$	49	133	223	364	488	579	663	712	712	663	579	488	364	223	133	49				
$D_{\text{вн}}, \text{Вт/М}^2$	24	56	82	101	112	119	122	126	126	122	119	112	101	82	56	24				
$At_{\text{вн}}, \text{Вт/М}^2$	-256	-140	-24	136	271	369	456	509	509	456	369	271	136	-24	-140	-256				
$\Delta t_{\text{вн}}, \text{Вт/М}^2$	-1,9	-0,7	0,5	2,1	3,4	4,3	5	5,3	5,2	4,4	3,4	2,3	0,8	-0,9	-2,1	-3,3				
$F_{\text{т}}, \text{М}^2$	1215	1215	1215	1215	1215	1215	1215	1215	1215	1215	1215	1215	1215	1215	1215	1215				
$Q_{\text{т}}^1, \text{Вт}$	2552	4010	5468	7412	8991	10085	10935	11300	11178	10206	8991	7655	5832	3767	2309	851				

3.5. Суммарные теплопоступления от солнечной радиации

Расчет суммарных теплопоступлений для каждого часа расчетных суток приведен в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Расчет суммарных теплопоступлений от солнечной радиации в помещение

Теплопоступления	Значения для часа расчетных суток															
	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Через заполнение световых проемов Q_{II} , Вт	-1706	-197	1016	1518	944	26	72	1079	2305	3498	4566	4937	4514	3068	890	-748
Через вертикальные ограждения (стены и ворота) Q_I^B , Вт	-2153	-721	435	1019	993	678	490	622	571	292	221	260	11	-775	-1840	-3269
Через горизонтальное ограждение (покрытие) Q_I^r , Вт	2552	4010	5468	7412	8991	10085	10935	11300	11178	10206	8991	7655	5832	3767	2309	851
Суммарные от солнечной радиации Q_{I+II} , Вт	-1307	3092	6919	9949	10928	10789	11497	13001	14054	13996	13778	12852	10357	6060	1359	-3166

Из табл. 3.6 видно, что максимума теплопоступления от солнечной радиации в помещение цеха достигнут в 13 часу дня и составят $Q_{I+II} = 14\ 054$ Вт.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое расчетные сутки?
2. От чего зависят теплопоступления через заполнение световых проемов?
3. Что такое прямая и рассеянная солнечная радиация?
4. Что такое солнечный азимут остекления?
5. Каков смысл коэффициентов инсоляции и облученности?
6. Что подразумевается под амплитудой колебания температуры наружного воздуха?
7. В зависимости от чего выбирается расчетная средняя температура наружного воздуха?
8. Что такое условная температура наружного воздуха?
9. Каков смысл коэффициента 2,55 в формуле показателя интенсивности конвективного теплообмена?
10. Что учитывает коэффициент a_n ?
11. От чего зависят теплопоступления через массивные ограждения?
12. Каков смысл коэффициента v ?
13. Зачем в формуле затухания расчетной амплитуды колебаний температуры наружного воздуха вводится коэффициент 0,9?
14. В какие периоды года учитываются теплопоступления через заполнение световых проемов и массивные ограждающие конструкции?
15. Сравните величины теплопоступлений через заполнение световых проемов за счет радиации и за счет теплопередачи.
16. Почему теплопоступления через заполнение световых проемов за счет теплопередачи невелики?

Список использованных источников

1. Хрусталёв, Б. М. Теплоснабжение и вентиляция. Курсовое и дипломное проектирование / Б. М. Хрусталев [и др.] ; под общ. ред. Б. М. Хрусталева. – 3-е изд., испр. и доп. – М. : Изд-во АСВ, 2008. – 784 с.
2. Внутренние санитарно-гигиенические устройства : в 3 ч. / В. Н. Богословский [и др.] ; под ред. Н. Н. Павлова и Ю. И. Шиллера. – М. : Стройиздат, 1991–1992. – Ч. 3 : Вентиляция и кондиционирование воздуха. Книга 1. – 1992. – 319 с.
3. Расчет поступления теплоты солнечной радиации в помещение : пособие 2.91 к СНиП 2.04.05–91 / утв. Ордена Трудового Красного Знамени арендным предприятием Промстройпроект 01.01.93. – М. : Промстройпроект, 1993. – 35 с.
4. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика (теплофизические основы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха) / В. Н. Богословский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1982. – 415 с.
5. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях : ГОСТ 30494–94. – Введ. 01.01.99. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 1998. – 13 с.
6. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны : ГОСТ 12.1.005–88. – Введ. 01.01.89. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 76 с.
7. Строительная климатология : Изменение № 1 СНБ 2.04.02–2000. – Введ. 01.07.2007. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2007. – 35 с.
8. Строительная климатология : справочное пособие к СНиП 23-01–99* / В. К. Савин [и др.] ; под. ред. чл.-кор. В. К. Савина. – М. : НИИ строительной физики РААСН, 2006. – 258 с.
9. Строительная теплотехника. Строительные нормы проектирования : ТКП 45-2.04-43–2006 (02250). – Введ. 01.07.2007. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2007. – 35 с.
10. Проектирование тепловой защиты зданий : СП 23-101–2004. – Введ. 01.06.2004. – М. : ФГУП ЦПП, 2004. – 319 с.
11. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СНБ 4.02.01–2003. – Введ. 01.01.2005. – Минск : Минстройархитектуры Республики Беларусь, 2004. – 81 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Теплофизические характеристики некоторых строительных материалов [9]

Материал	Плотность в сухом со- стоянии ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)			
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения s (при периоде коле- баний $T = 24$ ч), Вт/(м ² ·°С)	
		А	Б	А	Б
<i>Бетоны и растворы</i>					
Железобетон	2 500	1,92	2,04	17,98	19,70
Бетон на гравии или щебне из природного камня	2 400	1,74	1,86	16,77	17,88
Керамзитобетон на керам- зитовом песке	1 800	0,80	0,92	10,50	12,33
	1 600	0,67	0,79	9,06	10,77
	1 400	0,56	0,65	7,75	9,14
Газо- и пенобетон, газо- и пеносиликат	1 000	0,36	0,37	5,35	5,53
	900	0,32	0,33	4,79	4,95
	800	0,28	0,29	4,22	4,38
	700	0,23	0,24	3,51	3,67
600	0,18	0,19	2,81	2,95	
Цементно-песчаный раствор	1 800	0,76	0,93	9,60	11,09
Сложный раствор (песок, известь, цемент)	1 700	0,70	0,87	8,95	10,42
<i>Кладки</i>					
Глиняный обыкновенный кирпич	1 800	0,70	0,81	9,20	10,12
	1 900	1,18	1,40	10,38	11,52
Силикатный кирпич	1 700	0,87	1,07	9,16	10,29
	1 600	0,69	0,81	8,59	9,79
Керамический кирпич плотностью брутто 1400 кг/м ³	1 600	0,63	0,78	7,91	8,48
Камни керамические 18-щелевых плотностью 1600 кг/м ³	1 700	0,575	0,630	8,72	9,58
Кирпич силикатный утолщенный	1 600	1,03	1,28	8,83	9,91
Камни силикатные	1 400	0,79	0,93	7,93	9,01
<i>Теплоизоляционные материалы</i>					
Пенополиуретан	80	0,05	0,67	0,70	0,05
	60	0,041	0,53	0,55	0,05
	40	0,04	0,40	0,40	0,05

Материал	Плотность в сухом состоянии ρ , кг/м ³	Расчетные коэффициенты (при условиях эксплуатации)			
		теплопроводности λ , Вт/(м·°С)		теплоусвоения s (при периоде коле- баний $T = 24$ ч), Вт/(м ² ·°С)	
		А	Б	А	Б
Маты минераловатные прошивные	125	0,046	0,051	0,60	0,66
	100	0,045	0,048	0,53	0,57
	75	0,043	0,046	0,45	0,48
	50	0,042	0,045	0,36	0,39
Плиты мягкие, полужест- кие и жесткие минерало- ватные на синтетическом связующем	250	0,061	0,069	0,98	1,08
	200	0,057	0,064	0,85	0,93
	175	0,053	0,059	0,76	0,83
	125	0,050	0,054	0,63	0,67
Плиты пенополисти- рольные	75	0,047	0,051	0,47	0,51
	50	0,043	0,052	0,46	0,55
	35	0,041	0,050	0,40	0,48
	25	0,043	0,052	0,33	0,39
	15	0,045	0,054	0,25	0,30
<i>Древесина и изделия из нее</i>					
Сосна и ель поперек волокон	500	0,14	0,18	3,87	4,54
Сосна и ель вдоль волокон	500	0,29	0,35	5,56	6,33
Плиты древесноволокни- стые и древесностружеч- ные	1 000	0,23	0,29	6,75	7,70
	8 000	0,19	0,23	5,49	6,13
	400	0,11	0,13	2,95	3,26
	200	0,07	0,08	1,67	1,81
<i>Кровельные материалы, рулонные покрытия для полов</i>					
Листы асбестоцементные плоские	1 800	0,47	0,52	7,55	8,12
	1 600	0,35	0,41	6,14	6,80
Битум нефтяной строи- тельный и кровельный	1 400	0,27	0,27	6,80	6,80
	1 200	0,22	0,22	5,69	5,69
	1 000	0,17	0,17	4,56	4,56
Рубероид, пергамин, толь	600	0,17	0,17	3,53	3,53
Линолеум поливинилхло- ридный многослойный	1 800	0,38	0,38	8,56	8,56
	1 600	0,33	0,33	7,52	7,52
Линолеум поливинил- хлоридный на тканой подоснове	1 800	0,35	0,35	8,22	8,22
	1 600	0,29	0,29	7,05	7,05
	1 400	0,23	0,23	5,87	5,87
<i>Металлы и стекло</i>					
Сталь стержневая арма- турная	7 850	58	58	126,5	126,5
Чугун	7 200	50	50	112,5	112,5
Алюминий	2 600	221	221	187,6	187,6
Медь	8 500	407	407	326,0	326,0
Стекло оконное	2 500	0,76	0,76	10,79	10,79

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Теплопоступления через заполнения световых проемов.....	4
2. Теплопоступления через массивные ограждения.....	21
3. Пример расчета	28
3.1. Исходные данные	28
3.2. Расчет теплопоступлений через заполнения световых проемов	34
3.3. Расчет теплопоступлений через стены и ворота.....	42
3.4. Расчет теплопоступлений через покрытие.....	49
3.5. Суммарные теплопоступления от солнечной радиации	52
Контрольные вопросы.....	52
Список использованных источников.....	54
Приложение.....	55

Учебное издание

БОРУХОВА Лилия Владимировна
ШИБЕКО Александр Сергеевич

**РАСЧЕТ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ
ЧЕРЕЗ ЗАПОЛНЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПРОЕМОВ
И МАССИВНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ**

Пособие по курсовому и дипломному проектированию
для студентов специальности 1-70 04 02
«Теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна»

Редактор *О. В. Ткачук*
Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 28.12.2015. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 3,37. Уч.-изд. л. 2,64. Тираж 100. Заказ 283.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.