

РАСЧЕТ ТЕПЛА ОТ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗДАНИЙ В РЕГИОНАХ КР

Количество тепла, поступающего от солнечной радиации, для регионов Кыргызстана различно в зависимости от географического положения местности, состояния атмосферы и подстилающего слоя для данного региона, от расположения поверхности и ее ориентации по сторонам света. Сложность рельефа территории, сочетание гор и долин, расчлененность долин по территории, продолжительность солнечного сияния оказывают значительное влияние на эту величину /1-4/.

Поэтому для определения прямой и рассеянной радиации используются усредненные данные многолетних наблюдений местных метеостанций. Эти данные характеризуют наиболее вероятные поступления радиации с учетом облачности и типичного состояния атмосферы. Подробные сведения о поступлениях солнечной радиации приводятся в СНиП КР 23-02-00 «Климатология».

В общем случае количество солнечного тепла состоит из прямой, рассеянной и отраженной радиации.

$$Q=S+D+R. \quad (1)$$

Количество тепла от прямой солнечной радиации, падающей на стену или окно, зависит от угла падения лучистого потока и от ориентации стены (окна) по сторонам света и равно

$$S^{ver}=S^{hor}\cos\beta, \quad (2)$$

где S^{hor} – количество тепла от прямой радиации, падающей на горизонтальную поверхность, ккал/(м²-ч); β – вертикальный угол между проекцией солнечного луча на плоскость, перпендикулярную фасаду, и горизонтом. Значение β определяется по формуле

$$\operatorname{tg}\beta=\operatorname{ctg}h_0\cos\alpha, \quad (3)$$

где h_0 – высота стояния солнца, °; α – угол между проекцией солнечного луча на горизонтальную плоскость и перпендикуляром к фасаду; определяется разностью азимутов солнца и ориентации фасада, т.е. $\alpha^0=A^0-B^0$.

Количество тепла, падающее на стену (окно) от рассеянной радиации, независимо от ориентации и равно

$$D=0,5S^{hor}. \quad (4)$$

Отраженная радиация, падающая на стену (окно)

$$R^{ver}=0,47\rho_T(S^{hor}+D), \quad (5)$$

где S^{hor} , D – соответственно суммарные потоки тепла, обусловленные прямой и рассеянной радиацией; ρ_T – коэффициент отражения тепловой радиации (альбедо); 0,47 – коэффициент взаимного облучения горизонтальной и вертикальной поверхностей.

Тепловое воздействие наружной среды на ограждение складывается из воздействия солнечной радиации и температуры наружного воздуха. Исходными данными для теплофизического расчета ограждения в летних условиях служат:

1) количество тепловой солнечной радиации, падающей на поверхности (суммарная (прямая и рассеянная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность при безоблачном небе за каждый месяц года, МДж/м², приводится в табл.1).

Таблица 1

Месяц	Географическая широта, град. с. ш.			
	Бишкек 42°51'	Чолпон-Ата 42°36'	Тянь-Шань 41°55'	Суусамыр 42°09'
Январь	290	345	386	348
Февраль	378	413	486	450
Март	596	645	768	696
Апрель	757	810	898	832
Май	909	973	1085	987
Июнь	925	976	1089	982
Июль	906	971	1.054	966
Август	802	856	947	854
Сентябрь	620	690	746	676
Октябрь	487	516	575	536
Ноябрь	306	340	399	371
Декабрь	247	275	328	304
Год	7223	7810	8761	8002

Видно, что интенсивность прямой радиации на стены возрастает с увеличением географической широты местности. Максимальная радиация отмечается летом в период с 16 до 17 ч. Для горизонтальных поверхностей время максимальной радиации 12 ч;

2) количество тепла, поглощаемое поверхностью ограждения, которое зависит от коэффициента поглощения солнечной радиации ограждения ρ_c (значения ρ_c приводятся в табл. 2).

Таблица 2

Ограждение и материал поверхности	Цвет поверхности	ρ_c
Стена кирпичная оштукатуренная	Белый	0,25
	Темно-красный	0,7
Стена кирпичная с керамической облицовкой	Светло-красный	0,58
Стена бетонная	Светлый	0,65
	Темный	0,75
Кровля черепичная	Светло-красный	0,6
Кровля рубероидная	Светло-серый	0,85
Асфальт	Темно-серый	0,9
Земля	Светлый	0,7
	Темный	0,8
Известняк	Светлый	0,4
	Темный	0,7
Песчаник	Светлый	0,4
	Темный	0,75

Для упрощения расчета тепловое воздействие солнечной радиации заменяется дополнительной температурой наружного воздуха $t_{\text{экв}}$ действие которой на поверхности ограждения эквивалентно действию солнечной радиации на эту поверхность (эквивалентная температура солнечного облучения). Эта дополнительная температура определяется по формуле

$$t_{\text{экв}} = \frac{\rho_c Q}{\alpha_{\text{ext}}}, \quad (6)$$

где ρ_c - коэффициент поглощения поверхностью тепла солнечной радиации; α_{ext} - коэффициент теплообмена у наружной поверхности ограждения, ккал/(м² ч °С).

Сумму температуры наружного воздуха t_{ext} и эквивалентной температуры солнечной радиации $t_{\text{экв}}$ называют суммарной температурой наружного воздуха, которую вычисляют по формуле

$$t_{\text{сум}} = t_{\text{ext}} + \frac{\rho_c Q}{\alpha_{\text{ext}}}. \quad (7)$$

Амплитуда колебания температуры наружного воздуха в летний период складывается из амплитуды колебания наружного воздуха и амплитуды колебания эквивалентной температуры солнечной радиации. Максимальная солнечная амплитуда колебания температуры наружного воздуха A_t приближенно находится по формуле

$$A_t = 2(t_{13} - t_m), \quad (8)$$

где t_{13} - усредненная максимальная температура наружного воздуха в самом жарком месяце в 13 ч; t_m - средняя месячная температура наружного воздуха самого жаркого месяца.

При периодическом колебании солнечной радиации амплитуда ее колебания $A_{\text{рад}}$ определяется из выражения

$$A_{\text{рад}} = Q_{\text{max}} - Q_{\text{ср}} \quad (9)$$

где Q_{max} - максимальная интенсивность солнечной радиации; $Q_{\text{ср}}$ - средняя за сутки интенсивность солнечной радиации.

Амплитуда эквивалентной температуры $A_{\text{экв}}$ выражается через амплитуду солнечной радиации по формуле

$$A_{\text{экв}} = \frac{\rho_c(Q_{\text{max}} - Q_{\text{ср}})}{\alpha_{\text{ext}}}, \quad (10)$$

Существует одно важное обстоятельство – максимумы амплитуд A_t и $A_{\text{экв}}$ по времени не совпадают. Поэтому максимальную амплитуду колебаний суммарной температуры наружного воздуха $A_{\text{сум}}$ приближенно определяют по формуле

$$A_{\text{сум}} = (A_{\text{экв}} + A_t) \varphi_1 \quad (11)$$

где φ_1 - коэффициент, учитывающий сдвиг фаз максимумов Q_{max} и t_{max} .

Коэффициент φ_1 зависит от разности времени максимумов солнечной радиации и температуры наружного воздуха $z_1 - z_2$ и от соотношения амплитуд $A_{\text{экв}} : A_t$.

Численные значения φ_1 приводятся в табл. 3.

Таблица 3

$\frac{A_{\text{экв}}}{A_t}$	Разница времени максимумов солнечной радиации и температуры наружного воздуха $z_1 - z_2$, ч				
	1	3	5	7	9
1	0,99	0,92	0,79	0,61	0,38
3	0,99	0,94	0,85	0,73	0,6
5	1	0,96	0,89	0,81	0,73

Амплитуда колебания температуры на внутренней поверхности ограждения находится по формуле

$$A_{\text{int II}} = \frac{A_{\text{ext}}}{\gamma_1}, \quad (12)$$

где A_{ext} - амплитуда колебаний температуры наружной среды; γ_1 - затухание колебаний температуры наружного воздуха в ограждении.

Минимальные значения γ_1 приводятся в табл. 4.

Таблица 4

Вид ограждений	Значения γ_1 при температуре	
	от 25 до 29°C	от 30° С и выше
Покрытия бесчердачные и с чердаком	25	35
Стены, ориентированные на южную часть неба (от 0 до 90°)	15	25

Расчет суммарной солнечной радиации при действительных условиях облачности за отопительный период можно определять по следующему алгоритму.

Суммарная (прямая плюс рассеянная) солнечная радиация на горизонтальную поверхность (покрытие, зенитные фонари) Q^{hor} , МДж/м², при действительных условиях облачности за отопительный период для климатического района строительства определяется по формуле

$$Q^{hor} = \sum_{i=1}^m q_i^{hor}, \quad (13)$$

где Q^{hor} - суммарная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности для i -го месяца отопительного периода, МДж/м², принимается по данным СП КР 23-101:2009; m - число месяцев отопительного периода со среднесуточной температурой наружного воздуха, равной и ниже 8 °С, определяемое по СП КР 23-101:2009.

Суммарная (прямая, рассеянная и отраженная) солнечная радиация на вертикальную поверхность (стены и окна) Q_j^{ver} , МДж/м², при действительных условиях облачности за отопительный период определяется по формуле

$$Q_j^{ver} = \sum_{i=1}^m q_{ji}^{ver} = \sum_{i=1}^m (S_{ji}^{ver} + D_i^{ver} + R_i^{ver}) = \sum_{i=1}^m \left(S_i^{hor} k_{ij} + \frac{D_i^{hor}}{2} + \frac{Q_i^{hor} A_i^{cal}}{200} \right), \quad (14)$$

где S_{ji}^{ver} - прямая солнечная радиация на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности в i -м месяце отопительного периода для j -й ориентации, МДж/м²; D_i^{ver} , R_i^{ver} - рассеянная и отраженная солнечная радиация на вертикальную поверхность при действительных условиях облачности в i -м месяце отопительного периода, МДж/м²; S_i^{hor} , D_i^{hor} - прямая и рассеянная солнечная радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности в i -м месяце отопительного периода, МДж/м², принимаются по данным СП КР 23-101:2009; m , Q_i^{ver} - то же, что и в формуле (12); A_i^{cal} - альбедо деятельной поверхности в i -м месяце отопительного периода, %, принимается по данным СП КР 23-101:2009; k_{ij} - коэффициент пересчета прямой солнечной радиации с горизонтальной поверхности на вертикальную i -го месяца отопительного периода для j -й ориентации, принимается по данным СП КР 23-101:2009.

Для ориентировочного расчета теплофизических свойств ограждений, имеющих тепловую инерцию $D > 2,5$, пользуются формулой В.Н. Богословского, которая не требует предварительного вычисления коэффициентов теплоусвоения поверхностей слоев ограждений /6, 7/.

$$\gamma_{общ} = e^{0,7 \Sigma D \left(0,83 + 3 \frac{\Sigma R}{\Sigma D} \right) \beta_{сл}}, \quad (15)$$

где $\gamma_{общ}$ - затухание амплитуд температурных колебаний в однородном ограждении; ΣD - характеристика тепловой инерции ограждения; ΣR - термическое сопротивление ограждения; $\beta_{сл} = 0,85 + 0,15 s_2 / s_1$ - множитель, учитывающий

соотношение коэффициентов теплоусвоения материалов двух основных конструктивных слоев ограждения, расположенных по направлению распространения тепловой волны.

При наличии в ограждении воздушной прослойки результат, получаемый по формуле (14), умножается на множитель $\beta_{в.п.}$, значение которого вычисляется по формуле

$$\beta_{в.п.} = 1 + 0,5 R_{в.п.} \frac{\sum D}{\sum R}, \quad (16)$$

где $R_{в.п.}$ - термическое сопротивление воздушной прослойки.

Пользование формулой, основанной на замене многослойной конструкции однородной, которая приближенно эквивалентна ей по теплофизическим свойствам, показывает, что расчеты дают результаты, отличающиеся на 10-12% от точных расчетов с определением коэффициентов теплоусвоения поверхностных слоев в ограждении.

Допустимая амплитуда колебаний температуры на внутренней поверхности определяется по формуле

$$A_t \leq 2,5 - 0,1(t_{ext} - 20), \quad (17)$$

где t_{ext} - среднемесячная температура наружного воздуха за июль месяц.

Выполнение всех этих требований в общем случае гармонизируется с главными требованиями проектирования зданий и сооружений, а именно сейсмостойкостью /5/.

Список литературы

1. Свод правил по проектированию и строительству Кыргызской Республики. СП КР 23-101:2009. «Проектирование тепловой защиты зданий».
2. Строительные нормы и правила Кыргызской Республики. СНиП КР 23-01:2009. «Строительная теплотехника».
3. Строительные нормы и правила Кыргызской Республики. СНиП КР 23-02-00. «Строительная климатология».
4. Свод правил по проектированию и строительству. СП 23-101-2004. «Проектирование тепловой защиты зданий»
5. Кутуев М.Д., Укуев Б.Т., Матозимов Б.С., Мамбетов Э.М. Теория и практика сейсмозащиты сооружений. - Бишкек: Алтын принт 2010. - С. 370.
6. Богословский В. Н. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1970.
7. Ильинский В. М. Строительная теплофизика. – М.: Высшая школа, 1974.