

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Кафедра ТМПУ, г. Москва, Красноказарменная ул., 17
E-mail: aleksey.ranko@mail.ru, guzhovsv@yandex.ru

Исследование влияния облачности небосвода на тепловые потери зданий

Аннотация. В работе приведены результаты расчета зависимости тепловых потерь излучением от высоты расположения облаков и заоблачности небосвода.

Ключевые слова: излучение, теплопотери

S.V. GUZHOV, PhD,
A.P. RANKO, student

Moscow Power Engineering Institute, TМPU Department, Moscow, Krasnokazarmennaya St., 17
E-mail: aleksey.ranko@mail.ru, guzhovsv@yandex.ru

Research of influence of overcast of a firmament on thermal losses of buildings

Annotation. The paper presents the results of the calculation of the dependence of the radiation heat loss on the height of the clouds and overcast of a firmament.

Keywords: radiation, heatlosses

Для оценки влияния заоблачности небосвода на теплопотери излучением необходимо определить температуру наружных поверхностей ограждающих конструкций здания. Для расчёта был выбран дом типовой конструкции 111-121 с наружными стенами из железобетонных панелей толщиной 300 мм и пластиковыми окнами.

Расчет будет произведен для температуры наружного воздуха, равной +1,7 °С для наиболее корректного результата, в связи с использованием данных распределения температуры по высоте, снятых при этой температуре.

Температура внутри помещения принимается равной 20 °С [1]

Таблица 1. Тепловые характеристики основных ограждающих конструкций дома типа 111-121.

поверхность	Суммарное термическое сопротивление, $\Sigma R_{\text{т}}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}{\text{Вт}}$	Коэффициент теплопередачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°С}}$	Наружная температура стенки, °С
Окна	0,44	1,671	3,03
Стены	0,783	1,062	2,54
Крыша	2,82	0,336	1,97

1. Расчет теплопотерь излучением.

Для расчета теплопотерь излучением воспользуемся законом Стефана-Больцмана [2]:

Для абсолютно черного тела плотность потока излучения равна:

$$E_0 = \sigma_0 \cdot T^4, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (1.1)$$

где $\sigma_0 = 5,67 \cdot 10^{-8}$ – постоянная Стефана-Больцмана, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$

T – температура тела, К

Для реального тела плотность потока излучения равна:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma_0 \cdot T^4, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (1.2)$$

где ε – степень черноты тела

Поскольку излучение происходит от любого тела, результирующий тепловой поток будет равен разности тепловых потоков здания и небосвода:

$$E_{\text{рез}} = E_{\text{зд}} - E_{\text{н}} \quad (1.3)$$

Таким образом суммарные тепловые потери излучением с поверхности здания будут равны сумме произведений удельных тепловых потоков на площадь поверхности, соответствующей им и тепловых потерь излучением, проходящих через стекло [3]:

$$Q_{\text{изл}} = E_{\text{рез.ст}} \cdot F_{\text{ст}} + E_{\text{рез.ок}} \cdot F_{\text{ок}} + E_{\text{рез.кр}} \cdot F_{\text{кр}} + Q_{\text{ок}}, \text{ Вт} \quad (1.4)$$

Где $Q_{\text{ок}}$ – теплопотери излучением от внутренних стен помещения через окна.

2. Расчет тепловых потерь излучением от внутренних стен, проходящим сквозь окна.

Поскольку световой поток имеет ту же природу, что и излучение, отношение светового потока, приходящегося на окно к световому потоку, падающего на все стены будет равно отношению плотности потоков излучений для тех же поверхностей.

Таким образом отношение светового потока, приходящегося на окно к суммарному потоку от всех стен:

$$\psi = \frac{F_{\text{ок.сумм}}}{F_{\text{сумм}}} = \frac{66,873 \cdot \frac{\text{Б}}{10}}{474,754 \cdot \frac{\text{Б}}{10}} = 0,141 \quad (2.1)$$

Количество теплоты от излучения, приходящегося на окно:

$$Q_{\text{вн.ок}} = E_{\text{рез.вн.ок}} \cdot \psi \cdot T \cdot \Sigma F_{\text{пом}} \cdot n, \text{ Вт}; \quad (2.2)$$

Где $E_{\text{рез.вн.ок}}$ – результирующий тепловой поток от внутренних стен к облакам, согласно формуле (1.3),

T – коэффициент направленного пропускания света, равный 0,72 [4]

$\Sigma F_{\text{пом}}$ – суммарная площадь всех стен помещения, за исключением той, в которую вмонтировано окно.

n – количество окон в здании.

Удельный тепловой поток от стен через окно:

$$q_{\text{через окно}} = E_{\text{вн.ок}} \cdot \psi \cdot T \quad (2.3)$$

Также необходимо учитывать потери излучения, которые поглощаются частицами влаги, находящимися в воздухе. Для этого примем относительную влажность воздуха равной 60%. В абсолютном значении это составит 0,014 кг/м³ [5]. Чтобы узнать долю влагосодержания необходимо привести отношение к одинаковым величинам.

$$\Psi = \frac{f}{\rho_{\text{жидк}}} = \frac{0,014}{1000} = 1,4 \cdot 10^{-5} \quad (2.4)$$

Количество поглощенного излучения влагой, содержащейся в воздухе можно определить, вычислив интеграл по высоте от потерь.

$$\Delta E_i = \int_0^{H_i} E_i \cdot \Psi \, dH \quad (2.5)$$

Где H_i – высота, м.

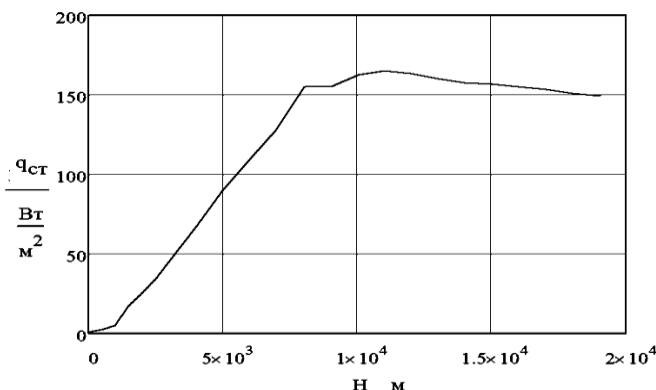


Рис. 1. Зависимость удельных теплопотерь стен от высоты объекта поглощения энергии.

3. Расчет суммарных тепловых потерь излучением от пятиэтажного дома типа 111-121-1

Суммарные тепловые потери от здания излучением будут равны:

$$Q_{\text{изл}} = q_{\text{ст}} \cdot F_{\text{ст}} + q_{\text{ок}} \cdot F_{\text{ок}} + q_{\text{кр}} \cdot F_{\text{кр}} + q_{\text{через.окно}} \cdot \Sigma F_{\text{пом}} \cdot n, \text{ Вт}; \quad (3.1)$$

$$\text{Где } q_i = E_{\text{рез}i} - \Delta E_i, \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \quad (3.2)$$

Подставляя в уравнение (3.1) уравнения (3.2), (2.3), (2.2), получим:

$$Q_{\text{изл}} = \sigma_0 \cdot \left\{ \left[(\varepsilon_{\text{ст}} \cdot T_{\text{ст}}^4 - \varepsilon_0 \cdot T_H^4) - \int_0^H (\varepsilon_{\text{ст}} \cdot T_{\text{ст}}^4 - \varepsilon_0 \cdot T_H^4) \cdot \Psi \, dH \right] \cdot F_{\text{ст}} + \left[(\varepsilon_{\text{ок}} \cdot T_{\text{ок}}^4 - \varepsilon_0 \cdot T_H^4) - \int_0^H (\varepsilon_{\text{ок}} \cdot T_{\text{ок}}^4 - \varepsilon_0 \cdot T_H^4) \cdot \Psi \, dH \right] \cdot F_{\text{ок}} + \left[(\varepsilon_{\text{кр}} \cdot T_{\text{кр}}^4 - \varepsilon_0 \cdot T_H^4) - \int_0^H (\varepsilon_{\text{кр}} \cdot T_{\text{кр}}^4 - \varepsilon_0 \cdot T_H^4) \cdot \Psi \, dH \right] \cdot F_{\text{кр}} + \varepsilon_{\text{вн.ст}} \cdot T_{\text{вн.ст}}^4 - \varepsilon_0 \cdot T_H^4 - \int_0^H (\varepsilon_{\text{вн.ст}} \cdot T_{\text{вн.ст}}^4 - \varepsilon_0 \cdot T_H^4) \cdot \Psi \, dH \cdot \psi \cdot \Sigma F_{\text{пом}} \cdot n, \text{ Вт}; \quad (3.3)$$

$\varepsilon_{\text{ст}}, \varepsilon_{\text{ок}}, \varepsilon_{\text{кр}}, \varepsilon_{\text{вн.ст}}, \varepsilon_0$ – степень черноты наружных стен, окон, крыши, внутренних стен и облака соответственно;

$T_{\text{вн.ст}}$ – температура поверхности внутренних стен, К;

$T_{\text{ст}}, T_{\text{ок}}, T_{\text{кр}},$ – температура наружной поверхности стен, окон и крыши соответственно, К;

T_H – температура воздуха на высоте расположения облака, К;

H – высота расположения облака, м;

$F_{\text{ст}}, F_{\text{ок}}, F_{\text{кр}}$ – суммарная площадь наружных стен здания (за исключением оконных проемов), остекления и крыши здания соответственно, м²

T – коэффициент направленного пропускания света через стекло;

$\Sigma F_{\text{пом}}$ – суммарная площадь всех стен помещения, за исключением той, в которую вмонтировано окно;

n – количество окон в здании;

Ψ – абсолютная влажность воздуха, $\frac{\text{м}^3 \text{вод}}{\text{м}^3 \text{возд}}$

Таблица 2. Тепловые потери излучением здания типовой конструкции 111-121-1 при различных высотах облаков, полученные с помощью программного продукта Mathcad.

Высота, км	t, °C	T, К	$Q_{\text{изл}}, \text{ кВт}$
0	1,7	274,85	2,524
0,5	1,2	274,35	6,905
1	0,6	273,75	12,2
1,5	-2,2	270,95	37,476
2	-4,1	269,05	54,171
2,5	-6,4	266,75	73,5
3	-9,1	264,05	94,959
4	-15,3	257,85	140,843
5	-22,2	250,95	186,778
6	-29,3	243,85	228,778
7	-36,6	236,55	266,856
8	-48,6	224,55	321,933
9	-49,6	223,55	321,99
10	-54,3	218,85	337,038
11	-56,8	216,35	341,962

По данной методике был произведен расчет теплопотерь излучением г. Анадырь и проведено сравнение с тепловыми потерями, рассчитанными по стандартной методике, без учета излучения (рис.2).

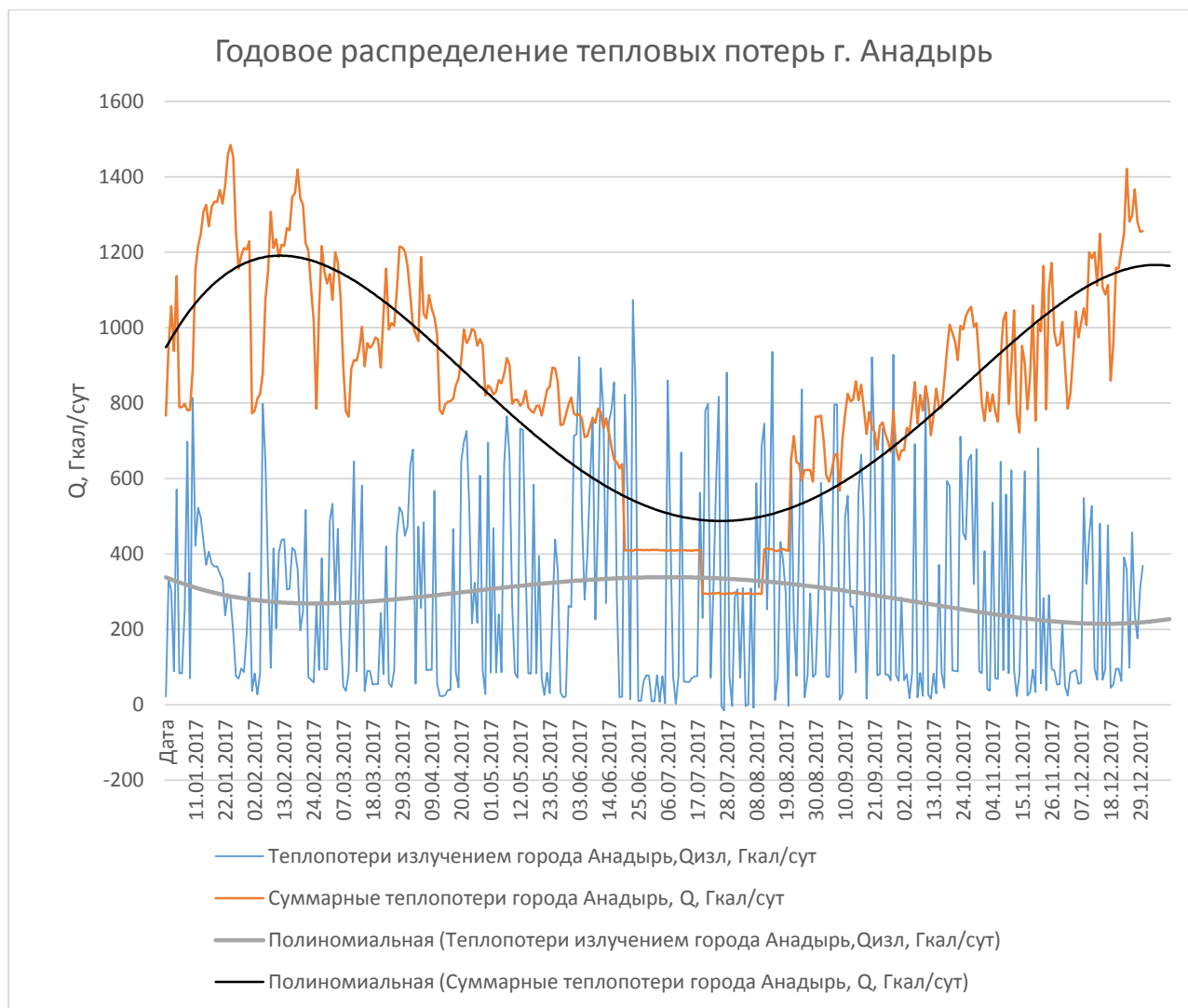


Рис.2. Годовое распределение теплопотерь г. Анадырь.

Закключение

Анализируя графики можно наблюдать точку перегиба, которая соответствует высоте 11км. В этой точке прирост теплопотерь равен поглощению излучения при прохождении через воздух.

Таким образом для данных условий эта высота характеризует максимально возможные теплопотери излучением от здания. Так же следует отметить, что зависимость удельных теплопотерь от высоты облака носит нелинейный характер – на высотах до 1 км и от 8 до 11 км повышение теплопотерь происходит менее значительно.

В первом случае это связано с малой разницей температур на поверхности земли и на высоте 1 км. Во втором случае это характеризуется гораздо менее значительным изменением температуры воздуха по высоте, поскольку она приближается к своему наименьшему значению в тропосфере.

Максимальная высота теплообмена излучением между зданием и облаком будет увеличиваться по мере снижения влажности воздуха. Таким образом, максимальная высота может достигнуть перламутровых облаков, находящихся в стратосфере, температура воздуха в которой повышается с увеличением высоты, что уменьшит тепловые потери, при отсутствии облаков, располагающихся на более низких уровнях.

Литература:

1. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
2. Цветков Ф.Ф., Керимов Р.В., Величко В.И. Задачник по тепломассообмену. М.: Изд-во МЭИ, 2008.
3. Смыков А.А. Особенности тепловых потерь излучением через светопрозрачные ограждающие конструкции. Нижний Новгород: Изд-во НГАСУ, 2017.
4. ГОСТ 24866-99. Стеклопакеты клееные строительного назначения. Технические условия.
5. Калькулятор для расчета абсолютной влажности воздуха [Электрон. ресурс] <https://planetcalc.ru/2167/> (Дата обращения 01.12.2018)