

Влияние коэффициента излучения офольгированных материалов на теплопередачу через наружные ограждения.

Умнякова Н.П., канд.техн.наук, НИИСФ РААСН

При применении блестящих офольгированных материалов на поверхности ограждающих конструкций происходит отражение лучистого потока тепла внутрь помещения, что обеспечивает снижение тепловых потерь через наружное ограждение. При этом при проведении теплотехнических расчетов учитывается только передача теплоты через материал за счет процесса теплопроводности, а лучистая составляющая теплопередачи в расчете не участвует. Причиной этого является отсутствие в настоящее время методики расчета сопротивления теплопередаче стеновой конструкции с учетом отражательных свойств внутренних поверхностей материалов.

Рассмотрим передачу теплоты излучением и конвекцией из объема внутреннего помещения через наружные ограждающие конструкции. При этом принимаем, что абсолютная температура воздуха в помещении составляет $T_{в}$, °К, температура наружного воздуха $T_{н}$, °К, и абсолютная температура внутренней поверхности наружной ограждающей конструкции $T_{в.п.}$, °К.

Средний коэффициент излучением всех внутренних поверхностей $C_{ср}$ помещения вычисляется по следующему выражению

$$C_{ср} = \frac{C_{стен} F_{стен} + C_{покр} F_{покр} + C_{пол} F_{пол} + C_{ост} F_{ост}}{F_{стен} + F_{покр} + F_{пол} + F_{ост}} \quad (1)$$

где $C_{стен}$, $C_{покр}$, $C_{пол}$, $C_{ост}$ - коэффициент излучения поверхности стен, покрытия, пола, остекления, Вт/(м²К⁴);

$F_{стен}$, $F_{покр}$, $F_{пол}$, $F_{ост}$ - площадь стен, покрытий, пола, остекления, м². Лучистый падающий тепловой поток $Q_{пад.л.}$, излучаемый объемом воздушной среды с постоянной абсолютной температурой $T_{в}$, и воспринимаемый внутренней поверхностью наружного ограждения площадью 1 м² за 1 ч с постоянной абсолютной температурой $T_{в.п.}$, будет

$$Q_{\text{над.л}} = \frac{C_{\epsilon} C_{\text{ср}}}{C_0} \left[\left(\frac{T_{\epsilon}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\epsilon.л.}}{100} \right)^4 \right] \quad (2)$$

где $C_{\text{ср}}$ - средний коэффициент излучения внутренних поверхностей помещения, Вт/(м²К⁴);

C_{ϵ} - коэффициент излучения внутренней поверхности, Вт/(м²К⁴); C_0 - коэффициент излучения абсолютно черного тела равен 5,76 Вт/(м²К⁴).

В табл. 1 приводятся коэффициенты излучения различных строительных материалов.

Коэффициенты излучения материалов [1, 3, 4]

Материалы	Коэффициенты излучения, С, Вт/(м ² К ⁴)
1	2
Алюминий полированный	0,23 – 0,34
Алюминий с шероховатой поверхностью	0,34 – 0,4
Алюминиевая фольга	0,5
Алюминиевая окраска	2,88
Алюминиевый лак на шершавой пластине	2,25
Сталь нержавеющая полированная	0,43
Сталь тонколистовая гладкая	0,57 – 1,15
Сталь тонколистовая	2,3 – 3,45
Железо полированное	0,8 – 2,18
Железо с темно-серой поверхностью	1,78
Железо слегка поржавевшее	3,51
Железо сильно поржавевшее	4,9
Лак черный блестящий, распыленный на пластине	4,95
Лак белый	4,6
Лак черный матовый	5,52
Эмалевая краска	5,18
Асфальт	5,35
Асбестоцемент шероховатый	5,52
Кирпич глиняный обыкновенный шероховатый	5,1 – 5,30
Стекло оконное гладкое	5,41
Толь кровельная	5,86
Штукатурка известковая шероховатая	5,23
Бетон	5,23
Цементный раствор	3,9
Плитка метлахская гладкая	4,69
Плитка	5,35
Вода (слой толщиной 0,1 мм)	5,32

Снег	5,18
Лед	5,25
Песок	4,37

Величина конвективного теплового потока между внутренним воздухом в помещении с абсолютной температурой $T_{в}$ и внутренней поверхности наружного ограждения 1 м^2 за 1 ч с абсолютной температурой $T_{в.п}$ вычисляется по уравнению

$$Q_{к} = \alpha_{в.к} (T_{в} - T_{в.п}) \quad (3)$$

где $\alpha_{в.к}$ - коэффициент теплоотдачи конвекцией у внутренней поверхности, Вт/($\text{м}^2\text{°C}$).

Количество теплоты, прошедшее за 1 ч через 1 м^2 наружной ограждающей конструкции составляет

$$Q_{огр} = K(T_{в.п} - T_{н}) \quad (4)$$

где K - коэффициент передачи теплоты от внутренней поверхности ограждающей конструкции к наружному воздуху $K = \frac{1}{R_{к} + R_{н}}$, где $R_{к}$ - термическое сопротивление ограждающей конструкции, $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$ и $R_{н}$ - сопротивление теплоотдачи у наружной поверхности, $\text{м}^2\text{°C}/\text{Вт}$.

При проведении инженерных расчетов лучистого и конвективного теплообмена принимаем упрощенные схемы расчета на основании работ [1,5] и не учитываем многократное отражение.

Температура внутренней поверхности $T_{в.п}$ вычисляется в результате преобразований уравнений (2), (3) и (4) для стационарных условий с учетом коэффициентов излучения по следующей зависимости:

$$\tau_{в.п.} = \frac{t_{в} \left(\alpha_{в.л.} \cdot \frac{C_{в} C_{сп.}}{C_{пр} C_0} + \alpha_{в.к.} \right) + \kappa t_{н}}{\alpha_{в.н.} \cdot \frac{C_{в} \cdot C_{сп.}}{C_{пр} C_0} + \alpha_{в.к.} + \kappa} \quad (5)$$

где $\alpha_{в.к}$ - коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/($\text{м}^2\text{°C}$); $\alpha_{в.л}$ - коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/($\text{м}^2\text{°C}$); $C_{пр}$ - приведенный коэффициент излучения, Вт/($\text{м}^2\text{K}^4$); $t_{в}$ и $t_{н}$ - температура внутреннего и наружного воздуха, °C .

Расчет температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции $t_{в.н}$ по уравнению (5) будет происходить по следующей методике.

На первом этапе в соответствии с данными табл.1 принимаем коэффициенты излучения всех внутренних поверхностей помещения и по выражению (1) находим среднюю величину коэффициента излучения $C_{ср.}$. Затем задаем нормируемую величину температурного перепада между температурой воздуха в помещении и температурой на поверхности ограждающей конструкции согласно СП 50.13330.2012 «СНиП 23-02-2003 Тепловая защита зданий» и определяем коэффициенты теплоотдачи конвекцией $\alpha_{в.к.}$ излучением $\alpha_{в.л.}$. По этим параметрам вычисляем температуру на внутренней поверхности ограждающей конструкции $t_{в.п.}$

Результаты расчета температуры по данной методике сопоставим с результатами натуральных исследований, проведенных в производственном помещении завода ЛИТ в г. Переславле-Залесском Ярославской области. Ограждающие конструкции цеха - стены и покрытие - обшиты с наружной стороны по каркасу стеновым профнастилом ВС-18 (рис. 1 и 2) и с внутренней стороны утеплены офольгированным пенополиэтиленом Пенофол Супер NET толщиной 15 мм. . Общий вид промышленного здания приведен на рис. 3.

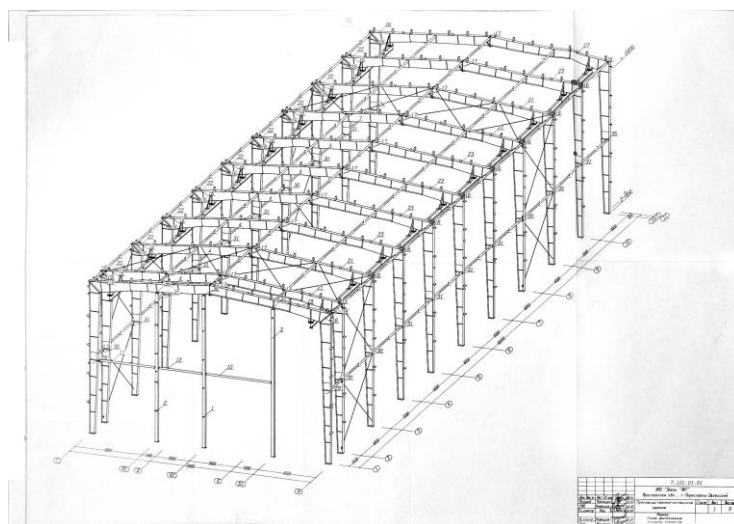


Рис.1. Каркас производственно-складского здания завода ЛИТ

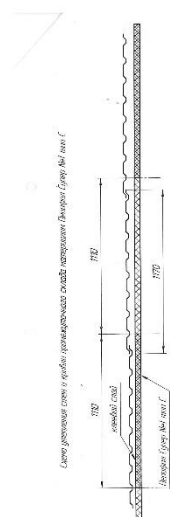


Рис. 2. Конструкция наружной стены производственного-складского помещения завода ЛИТ, выполненная из профилированного металлического настила с офольгированным утеплителем Пенофол Супер NET толщиной 15 мм.

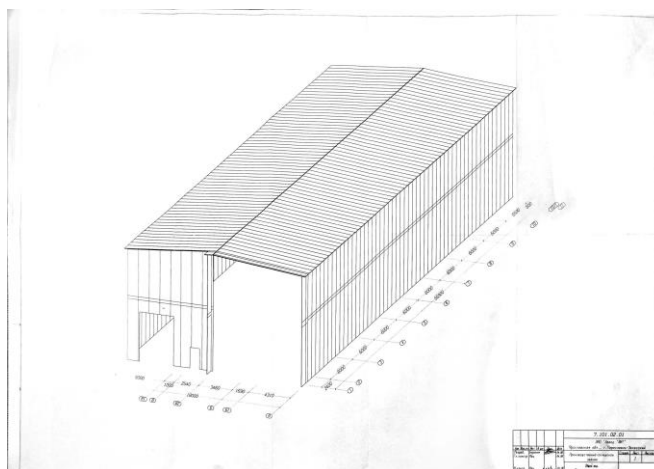


Рис.3. Общий вид промышленно-складского здания завода ЛИТ.

В конструкции наружной стены использовался стеновой профилированный металлический настил ВС-18 толщиной 3 мм, изготовленный из оцинкованной стали с полимерным покрытием бежевого цвета RAL 1014 с двух сторон. По нему с внутренней стороны помещения был установлен утеплитель Пенофол Супер NET типа С толщиной 15 мм

с



Рис.4. Вид производственного помещения завода ЛИТ с наружными стенами, утепленными материалом Пенофол Супер NET с отражательной изоляцией из алюминиевой фольги, обращенной внутрь помещения.

отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги. Эффективная отражательная теплоизоляция была обращена во внутрь производственного цеха (рис.4). Ее коэффициент излучения составлял $C = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°К}^4)$. В ходе натуральных теплотехнических исследований проводились замеры температуры на поверхности ограждения и относительной влажности воздуха с помощью датчиками температуры, термохронами и гигрохронами; замеры тепловых потоков – тепломерами.

Натурные теплотехнические исследования происходили в помещении цеха с 15 по 25 января 2013 г. Распределения температуры в сечении А-А ограждающей конструкции, состоящей из профилированного металлического настила и пенофола толщиной 15 мм, на котором отражательная теплоизоляция из алюминиевой фольги обращена внутрь помещения, приводится на рис. 5. Также было получено распределение температур в сечении Б-Б ограждающей конструкции с образованной гофром воздушной прослойкой толщиной 16,5 мм и пенофолом толщиной 15 мм с отражательной изоляцией из алюминиевой фольги, обращенной внутрь помещения.

Величины температурных перепадов при средней за период замеров температуре внутреннего воздуха $t_b = 16,9^{\circ}\text{C}$, наружного воздуха $t_n = -13,9^{\circ}\text{C}$ составили для сечения А-А $\Delta\tau' = \tau'_{\text{в}} - \tau'_{\text{н}} = 6,9 + 8,84 = 15,74^{\circ}\text{C}$ и для сечения Б-Б $\Delta\tau'' = \tau''_{\text{в}} - \tau''_{\text{н}} = 7,18 + 10,18 = 17,36^{\circ}\text{C}$. На основе обработки результатов измерений и соответствующих расчетов было установлено, что термическое сопротивление в сечение А-А по пенофолу толщиной 15 мм составило $0,3(\text{м}^2\text{C})/\text{Вт}^1$. Коэффициент теплопроводности по результатам натуральных испытаний пенофола колебался в диапазоне $\lambda = 0,047 - 0,049\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C})$. Термическое сопротивление в сечение Б-Б по пенофолу толщиной 15 мм и воздушной прослойкой

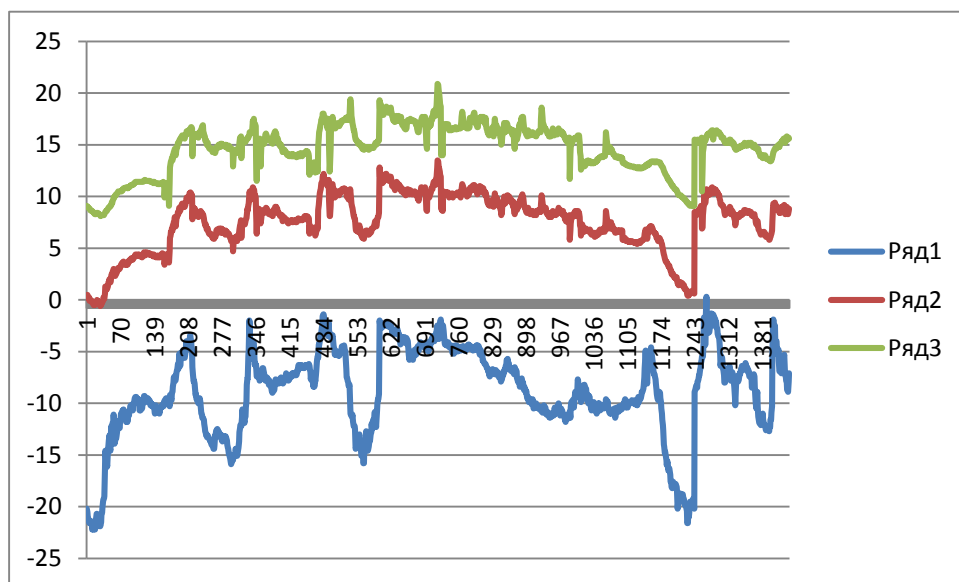


Рис. 5 Распределение температур в сечении А-А северной стены цеха.

Ряд 1 – температура на наружной поверхности стены; ряд 2 – температура на внутренней поверхности стены; ряд 3 – температура воздуха на расстоянии 160 мм от внутренней поверхности стены.

толщиной 16,5 мм, образованным гофром в стеновом профнастиле, составил $0,54 (\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$.

¹ При этом термическое сопротивление профнастила толщиной 3 мм и коэффициентом теплопроводности $58 \text{Вт}/(\text{м}^2\text{C})$ не учитывалась. Поскольку эта величина равняется $5,17 \cdot 10^{-5}(\text{м}^2 \text{ }^{\circ}\text{C})/\text{Вт}$.

Источник «Центр Энергетической Эффективности» <http://eec.zavodlit.ru>

Обращает внимание, что воздушная прослойка толщиной 16,5 мм и шириной 90 мм имеет термическое сопротивление 0,24 (м² °С)/Вт. Объяснить это можно низким коэффициентом излучения оцинкованной поверхности стенового профнастила и замкнутостью воздушной прослойки.

В связи с тем, что рассматриваемая конструкция неоднородна, определение ее теплозащитных свойств проведено с учетом термических сопротивлений, полученных при ее разделении плоскостями параллельными и перпендикулярными тепловому потоку. В результате получена величина термического сопротивления конструкции наружной стены равна 0,36 (м² °С)/Вт.

Известно, что передача теплоты к поверхности и ее отдача происходят за счет конвективного и лучистого теплообмена.

По результатам полученных экспериментальных данных для наружной поверхности коэффициент конвективного теплообмена составил $\alpha_{н,к} = 20,81$ Вт/м²°С. При определении коэффициента лучистого теплообмена для металлического профнастила коэффициент излучения составил 1,31 Вт/м² °С, для снега - 5,18 Вт/м² °С.

После соответствующих вычислений получаем коэффициент излучения $\alpha_{н,л} = 0,89$ Вт/м² °С. Сопротивление теплообмена у наружной поверхности $R_n = 1/(20,81 + 0,89) = 1/20,7 = 0,046$ Вт/м² °С.

При определении суммы двух коэффициентов конвективного и лучистого теплообмена у внутренней поверхности из алюминиевой фольги коэффициент конвективного теплообмена составил $\alpha_{в,к} = 3,55$ Вт/м²°С, коэффициент лучистого теплообмена $\alpha_{в,л} = 0,35$ Вт/м²°С, сопротивление теплообмену у внутренней поверхности $R_v = 1/(3,55 + 0,35) = 0,256$ м²°С/Вт.

Общее сопротивление теплопередаче стены с учетом отражающих свойств покрытия из алюминиевой фольги составило $R_0 = 0,256 + 0,36 + 0,046 = 0,66$ м²°С/Вт.

Температура на внутренней поверхности стены с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги определялась по формуле (5). При этом по формуле (1) находился средний коэффициент излучения помещения при коэффициенте излучения поверхности

Источник «Центр Энергетической Эффективности» <http://eec.zavodlit.ru>

стены $C=0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°К}^4)$, покрытия $C = 0,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°К}^4)$ и бетонного пола $C= 5,23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°К}^4)$, который равнялся $C_{\text{ср}}= 0,407 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°К}^4)$.

После подстановки полученных теплофизических величин в формулу (5) с учетом $t_{\text{в}} = 16,9\text{°С}$ и $t_{\text{н}} = -13,9\text{°С}$ температура на внутренней поверхности составила $\tau_{\text{в}}=6,74 \text{ °С}$.

Таким образом, сопоставляя полученную расчетом температуру $\tau_{\text{в}}=6,74 \text{ °С}$ с экспериментальной температурой $\tau_{\text{в}}= (7,2 + 6,9):2 = 7,05 \text{ °С}$ установлено, что расхождения составляют $0,31 \text{ °С}$ или $4,3\%$, что позволяет рекомендовать предложенную методику для инженерно-практических расчетов.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований новые значения сопротивления теплоотдачи у внутренней ограждающей конструкции с отражательной теплоизоляцией из алюминиевой фольги в помещении создают «тепловой эффект термоса», приводящий к повышению теплозащиты и снижению теплопотерь.

Предложенная новая методика расчета определения температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции в отличие от традиционного теплотехнического расчета позволяет учитывать на внутренней поверхности помещения изменение коэффициентов излучения в широком диапазоне от $0,5$ до $5,76 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°К}^4)$.

Список литературы.

1. Умнякова Н.П. Теплозащита замкнутых воздушных прослоек с отражательной теплоизоляцией. Жилищное строительство, № 1-2, 2014.- с.16 -20
2. Умнякова Н.П. Энергоресурсосбережение в строительстве – элемент концепции биосферной совместимости человека с окружающей средой. Биосферносовместимые города и поселения. Материалы международной конференции, 11-13 декабря 2012 г., Брянск. – с.56 - 64
3. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий. Под редакцией Ю.А. Табунщикова и В.Г. Гагарина. 5-ое издание, М.: АВОК-ПРЕСС, 2006.

4. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М.: изд-во «Энергия», 1973.
5. Богословский В.Н. и Шилькрот Е.О. Расчет лучисто-конвективного теплообмена в помещении с учетом многократного отражения. Вопросы тепловлажностного и воздушного режимов кондиционирования микроклимата. Сборник трудов №68. МИСИ. 1970.
6. Кузьмин П.П. Физические свойства снежного покрова. Л-д, Гидрометеиздат, 1957.- 178 с.

Ключевые слова: коэффициент излучения, температура, лучистый тепловой поток, излучение, теплоотдача излучением, теплоотдача конвекцией, теплотехнические исследования

Key words: emissivity, temperature, radiant heat flow, radiation, radiation heat transfer, convection heat transfer, thermal engineering research

Реферат

В данной работе приведена новая методика, позволяющая провести расчет температуры на внутренней поверхности стены при наличии отражательной теплоизоляции, обращенной блестящей поверхностью внутрь помещения. При расчетах по данной методике учитываются коэффициенты излучения всех поверхностей, обращенных внутрь помещения

Источник «Центр Энергетической Эффективности» <http://eec.zavodlit.ru>

– пола, потолка, стен и пр. Значения температуры на внутренней поверхности, полученные в результате расчета по этой методике, сопоставлены с экспериментальными значениями, полученными в ходе натурных обследований конструкции. Сходимость результатов экспериментальных данных и расчетных значений позволяет использовать методику расчета температуры на внутренней поверхности ограждения с учетом коэффициентов излучения поверхностей в практических инженерных расчетах.

In the paper, we present a new method to allow a calculation of the temperature on the inner surface of the wall in the presence of reflective insulation , shiny surface facing into the room . In the calculations according to this method emissivities of all surfaces facing the inside - the floor, ceiling , walls – are taken into consideration. The temperatures on the inner surface, resulting from the calculation by this method, compared with the experimental values obtained during the construction of field surveys. Convergence of the results of the experimental data and calculated values prove, that this methods can be used in engineering practice.