

Дослідження якісних показників зразків прозорих пластиків

Показники	Характеристика прозорих пластиків			
	акрилове скло	полікарбонат	поліефір	стіролакрілонітріл
Товщина листа, мм	від 1,0 до 25 мм	від 1,0 до 25 мм	від 2,0 до 25 мм	від 1,0 до 25 мм
Прозорість матеріалу, %	92-93	86-90	87-88	88-90
Міцність на вигин, МПа	5-10	8-10	5-10	4-5
Вологопоглинання, %	0,03	0,2	0,03	0,04
Здібність до полірування	добре полірується і шліфується	чутливий до контакт-них пошкоджень	добре полірується і шліфується	добре полірується
Стійкість до дії УФ-випромінювання	6 балів	4 бала	6 балів	6 балів
Стійкість до високих температур	стійкий до 80°C, у полум'ї займається	вогнестійкий, у полум'ї не займається	вогнестійкий, не підтримує горіння	не горить, а тільки плавиться у вогні
Стійкість до ударів	удароміцний	удароміцний	дуже міцний	підвищена удароміцність

1.Энциклопедия. Пластики, стекло, ПЕТ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <[http:// www.signweb.ru](http://www.signweb.ru)>.

2.Стекло, стеклоизделия, оргстекло, поликарбонаты [Електронный ресурс] – Режим доступа: <[http:// www.info@zhstroy.ru](http://www.info@zhstroy.ru)>.

3.ГОСТ Р 50962-96. Посуда и изделия хозяйственного назначения из пластмасс. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 10 с.

Отримано 27.11.2009

УДК 697.14

А.Ф.СТРОЙ, д-р техн. наук

Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка

ПИОТРОВСКИ ЕЖИ ЗБИГНЕВ, профессор

Свентошинська політехніка (Польща)

## РАСЧЕТ ТЕПЛОПОСТУПЛЕНИЙ ОТ СОЛНЦА ЧЕРЕЗ НЕПРОЗРАЧНЫЕ ОГРАЖДАЮЩИЕ КОНСТРУКЦИИ

Разработана и предложена новая методика расчета теплопоступлений от солнца через непрозрачные ограждающие конструкции. Отличается эта методика от существующих тем, что она более точно учитывает распределение тепловых потоков на наружной поверхности ограждающей конструкции. Предложено уравнение для определения численного значения каждого из тепловых потоков и температуры на наружной поверхности ограждения.

Розроблена та запропонована нова методика розрахунку теплонадходжень від сонця через непрозорі огорожувальні конструкції. Відрізняється ця методика від існуючих тим, що вона більш точно враховує розподіл теплових потоків на зовнішніх поверх-

нях огороджувальних конструкцій. Запропоновано рівняння для визначення чисельного значення кожного теплового потоку та температури на зовнішній поверхні огородження.

The new design procedure serve of heat from the sun through opaque protecting designs is developed and offered. This technique differs from existing themes, that it considers distribution of thermal streams to an external surface of a protecting design more precisely. The equation for definition of numerical value of each of thermal streams and temperatures on an external surface of a protection is offered.

*Ключевые слова:* солнечная температура, условная температура наружного воздуха, тепловой поток от солнца, конвективный тепловой поток, лучистый тепловой поток.

Методика, получившая наибольшее распространение для расчета теплоступлений от солнца через непрозрачные ограждающие конструкции, изложена в работах [1-6]. Она основана на понятии условная температура наружного воздуха –  $t_n^{ysl}$  [1-4] (солнечная температура воздуха [5, 6]). По этой методике среднесуточное поступление тепла в помещение, в результате действия солнечной радиации, определяют по формуле

$$Q = \frac{1}{R_o} F (t_n^{ysl} - t_e), \text{ Вт}, \quad (1)$$

где  $R_o$  – общее сопротивление теплопередачи ограждения,  $\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Вт}$ ;  $F$  – площадь поверхности ограждения,  $\text{м}^2$ ;  $t_n^{ysl}$  – условная среднесуточная температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_e$  – расчетная температура воздуха в помещении,  $^\circ\text{C}$ .

При этом условную среднесуточную температуру наружного воздуха в работах [3-6] рекомендуется определять с помощью уравнения

$$t_n^{ysl} = t_n + \frac{\rho I_{cp}}{\alpha_n}, \quad (2)$$

где  $t_n$  – температура наружного воздуха,  $^\circ\text{C}$ ;  $\rho$  – коэффициент поглощения тепла солнечной радиации наружной поверхностью ограждающей конструкции;  $I_{cp}$  – среднесуточное количество тепла суммарной солнечной радиации, поступающее на поверхность,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ ;  $\alpha_n$  – коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции,  $\text{Вт}/\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

На первый взгляд, уравнение (2) вроде бы логично. Оно предполагает замену теплового потока, который поступает на наружную поверхность ограждающей конструкции от солнца эквивалентным теп-

ловым потоком, который можно определить с помощью коэффициента теплообмена  $\alpha_n$ . Т.е. на основании уравнения (2) имеем:

$$\rho I_{cp} = \alpha_n (t_n^{ysl} - t_n) . \quad (3)$$

Такая эквивалентная замена была бы вполне логичной, если бы весь тепловой поток, который поступает от солнца на наружную поверхность дальше уходил бы в помещение, так как правая часть уравнения (1), в существующей методике, предполагает направление теплового потока только от наружного воздуха в помещение, точнее от условной температуры (солнечной температуры наружного воздуха) в помещение.

В действительности, тепловой поток, поступающий от солнца на наружную поверхность, нагревает ее до температуры, которая выше температуры наружного воздуха. При этом часть теплового потока наружная поверхность отдает наружному воздуху, а часть, за счет процесса теплопередачи через ограждающую конструкцию, поступает в помещение. Этого не учитывает существующая методика расчета.

На соотношение этих двух тепловых потоков существенное влияние оказывает сопротивление теплопередачи ограждения и коэффициент теплообмена у наружной поверхности, точнее соотношение этих величин. Этого также не учитывает существующая методика.

Таким образом, действительная физическая модель процесса теплообмена у наружной поверхности ограждения несколько отличается от той, которая заложена в уравнениях (1), (2). Следует отметить также, что при использовании этих уравнений ошибка при вычислении коэффициента теплообмена  $\alpha_n$  может значительно повлиять на результат расчета. В то же время, существующие рекомендации [1, 4, 5] для вычисления коэффициента  $\alpha_n$  дают очень разные результаты, которые могут отличаться в два раза. К примеру, СНиП [4] рекомендуют определять коэффициент теплообмена  $\alpha_n$  по формуле

$$\alpha_n = 1,163(7,5 + 2,2v), \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} . \quad (4)$$

В этой формуле  $v$  – расчетная скорость ветра, которую необходимо принимать не ниже 1 м/с.

Строительные нормы, в частности СНиП „Строительная теплотехника” [7] рекомендует  $\alpha_n$  вычислять из уравнения

$$\alpha_n = 1,163(5 + 10\sqrt{v}), \quad \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} . \quad (5)$$

При этом скорость ветра также необходимо принимать не ниже

1 м/с.

Вычисленный с помощью уравнения (4) коэффициент теплообмена  $\alpha_n$  при скорости ветра 1 м/с имеет значение  $\alpha_n = 11,3 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ . С помощью уравнения (5) –  $\alpha_n = 17,4 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ . В то же время в [1] утверждается, что  $\alpha_n$  часто принимают равным  $\alpha_n = 23,26 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Таким образом, используя рекомендации разных авторов для определения коэффициента  $\alpha_n$ , можно на основании уравнения (2) получить различные значения условной температуры наружного воздуха.

Учитывая, что разность температур между температурой наружного воздуха и температурой воздуха в помещении в летний период сравнительно небольшая, то ошибка при определении коэффициента теплообмена  $\alpha_n$  в два раза приведет к ошибке при расчете теплопоступлений в помещении (уравнение (1)) также в два раза. При проектировании холодильных установок или систем кондиционирования воздуха это существенно сказывается на стоимости оборудования и на эксплуатационных режимах его работы.

Следовательно, можно утверждать, что для летнего периода необходима большая точность расчетов при определении коэффициента  $\alpha_n$ .

Чтобы устранить отмеченные недостатки, присущие существующей методике расчета теплопоступлений через непрозрачные ограждающие конструкции, рассмотрим процесс теплопередачи через наружное ограждение. Примем, что температура наружного воздуха  $t_n$  выше, чем температура воздуха в помещении. Тепловой поток направлен в помещение. При отсутствии солнечной радиации график изменения температур в ограждающей конструкции показан на рис.1 сплошной линией (линия 1). При наличии солнечной радиации – пунктирной линией (линия 2). Графики температур построены при упрощающей предпосылке, что процесс теплопередачи стационарный.

При наличии солнечной радиации наружная поверхность ограждения будет облучаться солнцем, температура на ее поверхности повысится и станет равной  $t'_{n.n.}$ . В результате этого возникнет конвективный тепловой поток от поверхности к наружному воздуху и лучистый тепловой поток от поверхности в окружающую среду. Схема тепловых потоков на наружной поверхности приведена на рис.2.

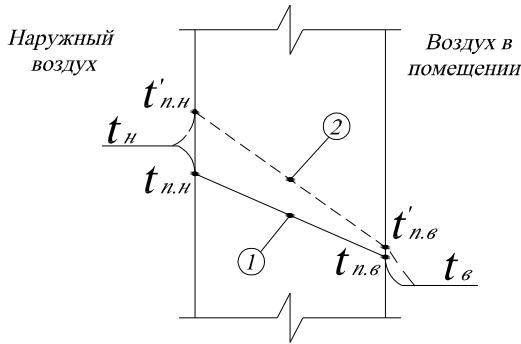


Рис.1 – График изменения температур в ограждении:

1 – при отсутствии солнечной радиации; 2 – при наличии солнечной радиации;  
 $t_n$  – температура наружного воздуха;  $t_{n,n}$ ,  $t_{n,в}$  – температура соответственно на наружной и внутренней поверхности ограждения при отсутствии солнечной радиации;  
 $t'_{n,n}$ ,  $t'_{n,в}$  – температура соответственно на наружной и внутренней поверхности ограждения при наличии солнечной радиации;  $t_в$  – температура воздуха в помещении.

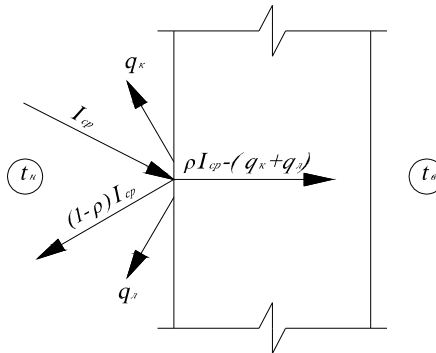


Рис.2 – Схема тепловых потоков на наружной поверхности ограждения при наличии солнечной радиации:

$I_{cp}$  – тепловой поток от солнца, Вт/м<sup>2</sup>;  $\rho$  – коэффициент поглощения солнечной радиации;  $\rho \cdot I_{cp}$  – тепловой поток от солнца, который поглощается наружной поверхностью ограждения, Вт/м<sup>2</sup>;  $(1 - \rho) I_{cp}$  – тепловой поток, который отражается от наружной поверхности, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_k$  – конвективный тепловой поток от наружной поверхности к наружному воздуху, Вт/м<sup>2</sup>;  $q_n$  – лучистый тепловой поток от наружной поверхности в окружающую среду (собственное излучение наружной поверхностью), Вт/м<sup>2</sup>.

При поступлении на поверхность ограждения теплового потока от солнца  $I_{cp}$  часть его будет поглощаться поверхностью ограждения –  $\rho \cdot I_{cp}$ , а часть будет отражаться –  $(1 - \rho)I_{cp}$ . В результате теплопроводности ограждающей конструкции в помещение будет поступать результирующий тепловой поток, равный:

$$q_p = \rho \cdot I_{cp} - (q_l + q_k), \quad \text{Вт/м}^2, \quad (6)$$

где  $q_k, q_l$  – конвективный и лучистый тепловой поток от наружной поверхности в окружающую среду.

Конвективный тепловой поток можно вычислить с помощью уравнения

$$q_k = \alpha_k (t'_{n,n} - t_n), \quad \text{Вт/м}^2, \quad (7)$$

а лучистый –

$$q_l = c_o \varepsilon_{np} \left[ \left( \frac{273 + t'_{n,n}}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_n}{100} \right)^4 \right], \quad \text{Вт/м}^2. \quad (8)$$

В уравнениях (7), (8)  $\alpha_k$  – коэффициент конвективного теплообмена,  $\text{Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ;  $c_o$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела,  $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{K}^4$ ;  $\varepsilon_{np}$  – приведенная степень черноты взаимоблужающихся поверхностей.

В свою очередь результирующий тепловой поток, который будет поступать в помещение в результате действия солнечной радиации, можно определить по формуле

$$q_p = k' (t'_{n,n} - t_e), \quad \text{Вт/м}^2. \quad (9)$$

Здесь  $k'$  – неполный коэффициент теплопроводности ограждения,  $k' = 1/R'_o$ , где  $R'_o$  – неполное общее сопротивление теплопередачи,

$R'_o = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_e}$ ;  $\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$  – сумма сопротивлений теплопроводности

отдельных слоев ограждающей конструкции,  $\frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$ ;  $\delta_i$  – толщина

отдельного слоя, м;  $\lambda_i$  – коэффициент теплопроводности слоя,  $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$ ;  $\alpha_e$  – коэффициент теплообмена у внутренней поверхности

ограждения.

Уравнение (6) представляет собой уравнение теплового баланса наружной поверхности ограждающей конструкции. Если подставить в это уравнение вместо тепловых потоков  $q_k, q_d, q_p$  их значения, выраженные через параметры соответственно с помощью формул (7)-(9), то при известной интенсивности солнечной радиации получим уравнение с одним неизвестным параметром – температурой на наружной поверхности ограждения. В результате решения уравнения (6) можно определить эту температуру и далее по формулам (7)-(9) вычислить все тепловые потоки. Результирующий тепловой поток будет характеризовать теплопоступления от солнца через непрозрачную ограждающую конструкцию.

Следует отметить, что при подборе оборудования для холодильных установок и систем кондиционирования воздуха худшим будет случай, когда у наружной поверхности ограждения естественная конвекция, т.е. малый конвективный теплоъем с наружной поверхности. В этом случае большее количество тепла будет поступать в помещение, а следовательно, необходима большая мощность холодильных установок. Для условий естественной конвекции, коэффициент конвективного теплообмена можно определить с помощью формулы [8]

$$\alpha_k = A(t'_{n,n} - t_n), \quad \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}, \quad (10)$$

где  $A$  – коэффициент, равный 2,0 в случае вертикального ограждения или 2,5 в случае горизонтального ограждения, обращенного нагретой поверхностью вверх.

Численные значения коэффициентов конвективного теплообмена  $\alpha_k$  для нагретой вертикальной поверхности, вычисленные по формуле (10), в зависимости от разности температур поверхности и воздуха приведены ниже (таблица).

Разность температур ( $t'_{n,n} - t_n$ ), $^\circ\text{C}$	1	2	3	4	5	6	8	10	20
Коэффициент конвективно-го теплообмена $\alpha_k, \frac{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$	2,0	2,3	2,6	2,8	2,9	3,1	3,4	3,5	4,2

Сравним данные этой таблицы с результатами вычислений, например, по формуле (5). Для этого выделим конвективную составляющую в этой формуле, которая зависит только от скорости ветра. Эта составляющая равна:

$$\alpha_k = 1,163 \cdot 10 \sqrt{v}, \quad \text{Вт} / \text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (11)$$

При скорости ветра  $v = 1$  м/с коэффициент конвективного теплообмена  $\alpha_n = 1,163 \cdot 10 \sqrt{1} = 11,63 \text{ Вт} / \text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Численное значение этого коэффициента более чем в два раза превышает значения коэффициентов конвективного теплообмена, вычисленные для условий естественной конвекции. Отсюда можно сделать вывод, что в существующей методике для расчета тепlopоступлений от солнца через непрозрачные ограждения конструкции помещений рекомендации по определению коэффициента теплообмена у наружной поверхности ограждения  $\alpha_n$  недостаточно обоснованы.

Таким образом, выполненный анализ процесса теплообмена у наружной поверхности ограждения позволил предложить новую методику расчета тепlopоступлений в помещение от солнца, несколько отличающуюся от существующей в [1-6]. В основе предложенной методики, позволяющей получить более точные результаты, лежит уравнение (6) для определения температуры на наружной поверхности ограждения при ее облучении солнечной радиацией.

1.Курылев Е.С., Герасимов Н.А. Холодильные установки. – Л.: Машиностроение, 1970. – 672 с.

2.Зворыкин М.Л., Черкез В.М. Установки кондиционирования воздуха и холодильники пассажирских вагонов. – М.: Транспорт, 1969. – 264 с.

3.СНиП II-33-75\*. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М., 1982. – 96 с.

4.СНиП II-33-75. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М., 1976. – 109 с.

5.Maksymilian Malicki. Wentulacja i klimatyzacja. Panctwowe wydawnictwo naukowe. – Warszawa, 1974. – 520 с.

6.Kazimierz Maczek, Jacek Schnotale, Dorota Skrzyniowska, Renata Sikorska – Bączek Uzdatnianie powietrza w inżynierii środowiska gła celów wentylacji i klimatyzacji. – Kraków, 2004.

7.СНиП II-3-79\* . Строительная теплотехника. – М., 1982. – 40 с.

8.Куртнер Д.А., Чудновский А.Ф. Расчет и регулирование теплового режима в открытом и защищенном грунте. – Л.: Гидрометиздат, 1969. – 299 с.

*Получено 25.11.2009*