



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ТЕПЛОЗАЩИТЫ ЗАПОЛНЕНИЙ СВЕТОПРОЕМОВ

О. Д. Самарин, доцент, канд. техн. наук (МГСУ)

Как известно, основная идея технико-экономической оптимизации какого-либо инженерного решения и, в частности, энергосберегающих мероприятий при использовании метода совокупных дисконтированных затрат (СДЗ) [1] заключается в нахождении значения некоторого параметра, характеризующего степень реализации данного мероприятия, при котором величина СДЗ принимает минимальное значение для заданного расчетного срока T . Применительно к ограждающим конструкциям и, в частности, к окнам, роль такого параметра играют их теплозащитные свойства, выражаемые сопротивлением теплопередаче R , ($\text{м}^2 \cdot \text{К}$). При увеличении R , как правило, единовременные капитальные затраты K на устройство ограждения обычно увеличиваются, а годовые затраты на тепловую энергию в системе отопления $\dot{Q}_{\text{т.от}}$ снижаются, поэтому возможно существование оптимального значения R , обеспечивающего минимум СДЗ.

Вообще говоря, в отличие от несветопрозрачных конструкций, где толщина теплоизоляции, а значит, и сопротивление теплопередаче, в принципе могут меняться непрерывно, для заполнений светопроемов это не так, и для каждого типа остекления имеется свое конкретное значение $R_{\text{ок}}$. Однако, поскольку вариантов конструкций окон имеется очень много, и шаг изменения $R_{\text{ок}}$ при этом может быть очень малым, допустим в первом приближении, что и здесь имеет место непрерывное изменение. Анализ цен, действующих в настоящее время на строительном рынке, позволяет оценить зависимость удельной стоимости светопрозрачных конструкций от их теплозащитных свойств на конец 2010 года в следующем виде:

$$K_{\text{ок-зд}} = 7500 \cdot R_{\text{ок}}^{2/3}, \text{ руб/м}^2. (1)$$

Следует также иметь в виду, что через заполнения светопроемов происходят поступления теплоты за счет солнечной радиации, которые в какой-то степени компенсируют трансмиссионные теплопотери, так что эффективное сопротивление теплопередаче при этом возрастает. Ориентировочно этот эффект можно здесь учесть введением понижающего коэффици-

ента, равного примерно 1/2, в формулу для расчета $\dot{Q}_{\text{т.от}}$ (для климатических условий, близких к параметрам для г. Москвы). Так получается, если вычислить по данным [2] осредненный по всем возможным ориентациям и за весь отопительный период удельный тепловой поток от солнечной радиации, который с учетом светотехнических характеристик наиболее распространенных типов остекления по [3] в Москве составит около 22 Вт/м². Это как раз и составляет около половины средних трансмиссионных теплопотерь. Разумеется, данный эффект нужно принимать во внимание, только если мы можем полезно использовать теплопоступления, т. е. при наличии автоматических терморегуляторов у отопительных приборов.

В этом случае удельные годовые затраты на тепловую энергию за счет теплопотерь через 1 м² окна можно определить по выражению:

$$\dot{Q}_{\text{т.от}}^{\text{уд}} = 2.06 \cdot 10^{-5} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot D_d \cdot C_T / (2 \cdot R_{\text{ок}}), \text{ руб/(м}^2 \cdot \text{год)}. (2)$$

Здесь коэффициент $2.06 = 86400 \cdot 10^{-4} / 4.19$, где 86400 – число секунд в сутках, 4.19 – удельная теплоемкость воды, кДж/(кг·К); β_1 и β_2 – коэффициенты, учитывающие добавочные потери теплоты через ограждения и округление тепловой мощности отопительных приборов и равные примерно 1.1... 1.13 [4]; $D_d = (t_b - t_{\text{от}}) \cdot Z_{\text{от}}$ – градусо-сутки отопительного периода, где $t_{\text{от}}$ и $Z_{\text{от}}$ – средняя температура, °С, и продолжительность отопительного периода, сут, в районе строительства по [2], t_b – средняя температура внутреннего воздуха в здании, °С – минимальная из допустимых в холодный период года по требованиям [5] для преобладающих помещений; C_T – стоимость единицы тепловой энергии, руб/Гкал. Коэффициент 2 в знаменателе появляется вследствие сокращения теплопотерь за счет теплоты солнечной радиации.

В работе [6] предлагается следующая формула для СДЗ при отнесении их к концу расчетного срока T :

$$\text{СДЗ} = K \cdot (1 + p/100)^T + \dot{Q} \cdot \left[(1 + p/100)^T - 1 \right] \cdot (100/p), \text{ руб}. (3)$$

Здесь p – норма дисконта, %. В расчетах ее можно принимать на уровне не ниже ставки рефинансирования Центрального Банка России. По состоянию на конец 2010 – начало 2011 года она равна 7.75 % годовых. Величина p связана с текущей величиной этой ставки, а также с коммерческими рисками капиталовложений. В [1] предлагается использовать на ближайшую перспективу значение $p = 10\%$.

Подставляем выражения для $K_{ок.уд}$ и $\varepsilon_{от}^m$ в (3), находим производную $d(СДЗ)/dR_{ок}$ и приравниваем ее нулю, откуда после некоторых преобразований для оптимального (экономически целесообразного) сопротивления теплопередаче получаем:

$$R_{ок.опт} = \left(\frac{2.06 \cdot 10^{-5} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot D_d \cdot C_T \cdot \left[(1+p/100)^T - 1 \right] \cdot (100/p) }{2 \cdot 5000 \cdot (1+p/100)^T} \right)^{0.6},$$

м²·К/Вт (4)

Множитель 5000 в знаменателе представляет собой величину 7500 из выражения для $K_{ок.уд}$ (1), умноженную на 2/3 при дифференцировании.

Следовательно, оптимальный уровень теплозащиты окон зависит от климатических параметров более сильно, чем для несветопрозрачных конструкций: величина D_d стоит в степени 0.6, а не 1/2. Это объясняется тем, что капитальные затраты на заполнения светопроемов, как показано выше, не прямо пропорциональны их сопротивлению теплопередаче, а меняются более слабо, примерно как $R_{ок}^{0.6}$.

На рис.1 сплошной линией представлена зависимость $R_{ок.опт}$ от T для климатических условий г. Москвы при $D_d = 4515$ К·сут [2] и $C_T = 1290.81$ руб/Гкал по данным ОАО «МОЭК» для жилых зданий на 2010 год. Легко видеть, что величина $R_{ок.опт}$ приближается к указанной в таблице 4 [7], а именно 0.52 м²·К/Вт для зданий 1-й категории по теплозащите (школы, детские, лечебные и под. учреждения), начиная примерно с $T = 8$ лет, а при дальнейшем увеличении T постепенно приближается к уровню 0.7 – 0.75 м²·К/Вт.

Это соответствует эффективным заполнениям светопроемов, например, в виде двухкамерных стеклопакетов с низкоэмиссионным покрытием и заполнением межстекольного пространства инертным газом [3]. В данном случае, в отличие от теплоизоляции, вполне возможно рассматривать и расчетные значения T , превышающие 5 лет, поскольку срок службы остекления, как правило, достаточно велик.

Пунктиром показана зависимость для $R_{ок.опт}$ при неучете дополнительных теплопоступлений от солнечной радиации. Легко видеть, что при этом экономически оптимальный уровень теплозащиты получается существенно (примерно в 1.5 раза) ниже вследствие того, что эффективная величина $\varepsilon_{от}^m$ значительно возрастает, и экономия за счет перехода на окна с более высоким уровнем $R_{ок}$ относительно уменьшается. Таким

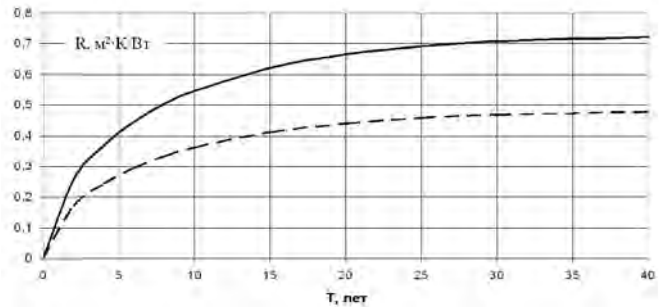


Рис.1. Зависимость оптимального сопротивления теплопередаче заполнений светопроемов от величины T

образом, установка автоматических терморегуляторов у отопительных приборов имеет положительное значение не только сама по себе, но и потому, что делает экономически целесообразным переход на использование энергоэффективного остекления.

Библиографический список:

1. А. Н. Дмитриев, Ю. А. Табунщиков, И. Н. Ковалев, Н. В. Шилкин. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2005, 120 с.
2. СНиП 23-01-99* «Строительная климатология». – М., ГУП ЦПП, 2004.
3. СП 23 – 101-2004 «Проектирование тепловой защиты зданий». – М.: ГУП ЦПП, 2004.
4. СТО 17532043 – 001-2005. Нормы теплотехнического проектирования ограждающих конструкций и оценки энергоэффективности зданий. Стандарт общественной организации – РНТО строителей. М.: ГУП ЦПП, 2006.
5. ГОСТ 30494 – 96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. – М.: ГУП ЦПП, 1999.
6. В. Г. Гагарин. Методы экономического анализа повышения уровня теплозащиты ограждающих конструкций зданий. Часть 1. //Журнал АВОК, 2009, № 1, с. 10 – 16.
7. СНиП 23 – 02 – 2003 «Тепловая защита зданий». – М.: ГУП ЦПП, 2003.