



Технико-экономический выбор заполнений светопроёмов в общественном здании

Вопросы повышения энергоэффективности зданий и снижения их энергопотребления на нужды систем обеспечения микроклимата в последнее время рассматривались рядом отечественных и зарубежных авторов [1–7]. При этом в настоящий момент в нашей стране в соответствии с требованиями актуализированной редакции СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» — Свод Правил 50.13330.2012 (далее — СП 50), оценка уровня теплозащиты оболочки здания осуществляется с учётом его удельной теплозащитной характеристики $k_{об}$, Вт/(м³·К).

По определению она равна отношению суммарных теплопотерь за счёт теплопередачи через наружные ограждающие конструкции к отапливаемому объёму здания $V_{от}$ [м³] и к расчётной разности температур внутреннего и наружного воздуха, °С.

Предельный уровень этой характеристики в СП 50 ограничивается нормируемой величиной $k_{об}^{тр}$ в зависимости от значения $V_{от}$ и градусо-суток отопительного периода в районе строительства ГСОП, °С·сут/год. Впервые данная методика была изложена в работах [1–2].

Проведём расчёт $k_{об}$ для здания спорткомплекса в городе Казани для двух вариантов. В первом варианте возьмём сопротивления теплопередаче $R_o^{тр}$ по данным табл. 3 [1] для вычисленного значения ГСОП, во втором — с увеличением для светопрозрачных ограждений, то есть считаем региональный коэффициент $m_p = 1,3$ для заполнения светопроёмов. Перекрытие над подвалом, наружную стену и покрытие в обоих случаях принимаем с $m_p = 1$, то есть сравниваем только базовый и повышенный уровень теплозащиты оконных блоков. Площади ограждающих конструкций принимаем по строительным чертежам, а соответствующим

Рассмотрено технико-экономическое обоснование необходимого уровня теплозащиты светопрозрачных ограждающих конструкций общественного здания. Расчёт произведён с использованием методики действующего в Российской Федерации СП 50.13330.2012

УДК 697.1

Технико-экономический выбор заполнений светопроёмов в общественном здании

О. Д. Самарин, к.т.н., доцент; Е. А. Дмитриева, студентка, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)

В статье рассмотрено технико-экономическое обоснование необходимого уровня теплозащиты светопрозрачных ограждающих конструкций общественного здания. Расчёт произведён с использованием методики действующего в РФ свода Правил 50.13330.2012, предусматривающей вычисление удельной теплозащитной характеристики здания и сравнение её с нормативным уровнем. Приведены результаты определения основных геометрических и энергетических показателей здания, а также наиболее существенных составляющих капитальных и эксплуатационных затрат для сравниваемых вариантов конструкции наружных ограждений с учётом имеющегося уровня цен и тарифов на материалы и энергоносители. Произведён выбор экономически целесообразного сопротивления теплопередаче устанавливаемых в здании оконных блоков по наименьшей величине совокупных дисконтированных затрат за расчётный срок службы здания при перспективной величине нормы дисконта. Изложение проиллюстрировано числовыми и графическими примерами.

Ключевые слова: теплозащита, теплопотери, светопрозрачные ограждения, совокупные дисконтированные затраты, норма дисконта.

UDC 697.1

Technical and economical choice of window units in a public building

O. D. Samarin, PhD, Associate Professor; E. A. Dmitrieva, student, National Research Moscow State University of Civil Engineering

In this article the feasibility study of the required level of thermal performance of transparent enclosing structures of public buildings is considered. The calculation is performed using methods applicable in the Russian Set of Rules 50.13330.2012 providing for the calculation of the specific thermal performance of the building and compare it with the normative level. The results of the determination of the main geometrical and energy parameters of the building are shown, as well as the most significant components of the capital and operating costs to compare options for the design of cladding taking into account the existing level of prices and tariffs on materials and energy. Selection of economically viable thermal resistance of installed in the building window units is performed at the lower of the combined discounted costs over the design life of the building in perspective the magnitude of the norm of discount. The presentation is illustrated by numerical and graphical examples.

Keywords: thermal performance, heat losses, transparent envelopes, combined discounted costs, discount rate.

Геометрические и энергетические показатели здания (варианты 1 и 2)

табл. 1

Ограждение	$A_i, \text{м}^2$	$R_i, \text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$	n_i	$A_i n_i / R_i, \text{Вт}/\text{К}$	$K_{\text{комп}} = A_{\text{Н}}^{\text{СУМ}} / V_{\text{от}}$	$K_{\text{общ}} = \Sigma(A_i n_i / R_i) / A_{\text{Н}}^{\text{СУМ}}$	$k_{\text{об}} = K_{\text{комп}} K_{\text{общ}}$
Показатели варианта 1							
Наружная стена	1967,4	2,685	1,0	732,74	0,229	0,570	0,130
Бесчердачное покрытие	1924,6	3,58	1,0	537,59			
Пол над подвалом	1924,6	3,033	0,6	380,72			
Окна	792,5	0,448	1,0	1768,88			
Сумма	5995,4	—	—	3419,93			
Показатели варианта 2							
Наружная стена	1967,4	2,685	1,0	732,74	0,229	0,502	0,115
Бесчердачное покрытие	1924,6	3,58	1,0	537,59			
Пол над подвалом	1924,6	3,033	0,6	380,72			
Окна	792,5	0,582	1,0	1361,62			
Сумма	5995,4	—	—	2489			

щие коэффициенты положения $n_i = 1$ для всех ограждений, кроме пола над подвалом, где $n = 0,6$. Отапливаемый объём здания равен $V_{\text{от}} = 26\,207 \text{ м}^3$.

Считаем среднюю температуру внутреннего воздуха в здании для расчёта системы отопления $t_{\text{в}} = 19^\circ\text{C}$ по требованиям ГОСТ 30494–2011 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях», среднюю температуру наружного воздуха за отопительный период $t_{\text{от}} = -4,8^\circ\text{C}$ и его продолжительность $z_{\text{от}} = 208$ сут. по табл. 1 Свода Правил 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» (далее — СП 131), тогда:

$$G_{\text{СОП}} = (19 + 4,8) \times 208 = 4950^\circ\text{C} \cdot \text{сут}/\text{год}.$$

Результаты расчётов сводим в табл. 1. Требуемая теплозащитная характеристика рассчитывается по формуле (5.5) СП 50:

$$k_{\text{об}}^{\text{ТР}} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{V_{\text{от}}}}}{0,00013 G_{\text{СОП}} + 0,61} = \frac{0,16 + \frac{10}{\sqrt{26\,207}}}{0,00013 \times 4950 + 0,61} = 0,177 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot \text{К}),$$

для $V_{\text{от}} > 960 \text{ м}^3$. Из расчёта видно, что оба варианта удовлетворяют требованию $k_{\text{об}} \leq k_{\text{об}}^{\text{ТР}}$, поэтому возможно их технико-экономическое сравнение.

Затраты, связанные с потреблением тепловой энергии за отопительный период системой отопления, на стадии ТЭО определяются так [3]:

$$\mathcal{E}_{\text{т.от}} = 0,0864 \frac{\Sigma Q_{\text{от}}}{4,19(t_{\text{в}} - t_{\text{н5}})} G_{\text{СОП}} C_{\text{т}}.$$

Здесь $0,0864 = 86\,400 \times 10^{-6}$, где $86\,400$ — число секунд в сутках; $t_{\text{н5}} = -31^\circ\text{C}$ — это расчётная температура наиболее холодной пятидневки в районе строительства по СП 131; $C_{\text{т}}$ — стоимость единицы тепловой энергии, которую можно при-

нять в размере $1720,9 \text{ руб}/\text{Гкал}$ по данным ОАО «МОЭК» на начало 2015 года; $\Sigma Q_{\text{от}}$ — суммарная мощность системы отопления в здании для каждого варианта, кВт. Она определяется по очевидному выражению $k_{\text{об}} V_{\text{от}} (t_{\text{в}} - t_{\text{н5}})$ и, таким образом, для первого варианта равна $150,69 \text{ кВт}$, а для второго — $133,3 \text{ кВт}$.

Тогда получаем:

$$\mathcal{E}_{\text{т.от.1}} = 529\,396 \text{ руб. в год},$$

$$\mathcal{E}_{\text{т.от.2}} = 468\,312 \text{ руб. в год}.$$

Поскольку варианты отличаются только конструкцией светопрозрачных ограждений, значения капитальных затрат на теплоизоляцию в расчёте не рассматриваются. Поэтому вычисляем только стоимость оконных блоков.

Сделать это можно исходя из их сопротивления теплопередаче $R_{\text{ок}}$, поскольку в соответствии с [3] ориентировочная стоимость 1 м^2 остекления пропорциональна величине $R_{\text{ок}}^{2/3}$.

Коэффициент пропорциональности в ценах 2015 года можно принять равным $12\,500$, и тогда при площади остекления, равной $792,5 \text{ м}^2$, получаем:

$$K_1 = 792,5 \times 12\,500 \times 0,448^{2/3} = 5\,803\,105 \text{ руб.};$$

$$K_2 = 792,5 \times 12\,500 \times 0,582^{2/3} = 6\,905\,688 \text{ руб.},$$

то есть действительно $K_2 > K_1$.

Теперь по значениям K_1 и K_2 можно определить годовые амортизационные отчисления [3]:

$$\mathcal{E}_{\text{ам}} = \frac{1,5 K}{T_{\text{ам}}},$$

где $T_{\text{ам}}$ — расчётный срок амортизации, который в данном случае можно принять равным расчётному сроку службы здания, то есть 50 лет; а коэффициент 1,5 учитывает как полное восстановление конструкции из расчёта, что за срок $T_{\text{ам}}$ будет накоплена его полная начальная стоимость, так и её капитальный и текущий ремонт.

В этом случае оказывается, что:

$$\mathcal{E}_{\text{ам.2}} = 174\,093 \text{ руб. в год},$$

$$\mathcal{E}_{\text{ам.1}} = 207\,171 \text{ руб. в год}.$$

Следовательно, суммарные годовые эксплуатационные затраты:

$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_{\text{ам.2}} + \mathcal{E}_{\text{т.от.2}} = 207\,171 + 468\,312 = 675\,483 \text{ руб. в год};$$

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_{\text{ам.1}} + \mathcal{E}_{\text{т.от.1}} = 174\,093 + 529\,396 = 676\,489 \text{ руб. в год},$$

то есть действительно $\mathcal{E}_2 < \mathcal{E}_1$, хотя в данном случае и незначительно.



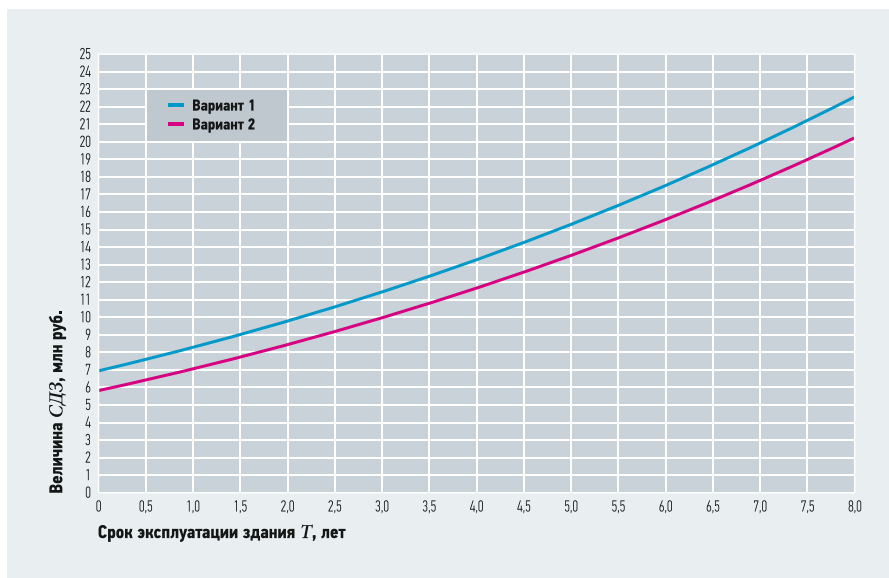


Рис. 1. Зависимость $CДЗ$ от T для вариантов конструкции здания (сплошная линия — вариант 1, пунктирная — вариант 2)

Вычисляем совокупные дисконтированные затраты ($CДЗ$) [3, 4]:

$$CДЗ = K \left(1 + \frac{p}{100} \right)^T + \varepsilon \left[\left(1 + \frac{p}{100} \right)^T - 1 \right] \frac{100}{p}, \text{ руб.},$$

где p — норма дисконта, при вычислении она была принята в размере 10 % годовых [3–5]; T — величина расчётного срока, на конец которого определяются совокупные дисконтированные затраты.

По полученным данным строим графики $CДЗ$ для каждого из вариантов, представленных на рис. 1. Видно, что кривые на рисунке не пересекаются, что свидетельствует об отсутствии окупаемости дополнительных капитальных затрат на повышение теплозащиты светопрозрачных

ограждений до энергетически оптимального уровня. Здесь это можно объяснить тем, что увеличение $R_{ок}$ во втором варианте не слишком велико, в результате чего экономия теплотрат на отопление здания оказывается недостаточной, чтобы компенсировать удорожание оконных блоков и, соответственно, повышенные амортизационные отчисления.

Таким образом, повышение теплозащиты заполнений светопроёмов в рассмотренных условиях является экономически неоправданным, поэтому для даль-

Повышение теплозащиты заполнений светопроёмов в рассмотренных условиях является экономически неоправданным

нейшей разработки принимаем базовый вариант теплозащиты.

Аналогичные расчёты ранее проводились для других зданий [8–9], и при этом были получены такие же выводы, что свидетельствует об их неслучайном характере и достаточной достоверности.

Однако при другом соотношении $R_{ок}$ окупаемость установки энергоэффективных окон может иметь место [3]. ●

1. Гагарин В.Г., Козлов В.В. О нормировании теплозащиты и требованиях расхода энергии на отопление и вентиляцию в проекте актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура, 2013. №31-2(50). С. 468–474.
2. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» // Жилищное строительство, 2011. №8. С. 2–6.
3. Самарин О.Д. Вопросы экономики в обеспечении микроклимата зданий. Изд. 2-е, перераб. и доп. — М.: Изд-во АСВ, 2015. 134 с.
4. Гагарин В.Г. Макроэкономические аспекты обоснования энергосберегающих мероприятий при повышении теплозащиты ограждающих конструкций зданий // Строительные материалы, 2010. №3. С. 8–16.
5. Дмитриев А.Н., Табунщиков Ю. А., Ковалев И.Н., Шилкин Н.В. Руководство по оценке экономической эффективности инвестиций в энергосберегающие мероприятия. — М.: АВОК-Пресс, 2005. 120 с.
6. Jedinák Richard. Energy Efficiency of Building Envelopes. Advanced Materials Research. 2013. Vol. 855. Pp. 39–42.
7. Allan Hani, Teet-Andrus Koiv. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings. Smart Grid and Renewable Energy. 2012. Vol. 3. No. 3. Pp. 231–238.
8. Самарин О.Д., Гришенков М.В. Выбор конструкции светопрозрачных ограждений здания с применением его удельной теплозащитной характеристики // Светопрозрачные конструкции, 2015. №1. С. 43–45.
9. Самарин О.Д., Мишин Н.Ю., Бызов Н.И. Обоснование применения светопрозрачных конструкций в общественном здании // Окна и двери, 2016. №3. С. 14–15.

REFERENCES

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING

Technical and economical choice of window units in a public building. Pp. 92–94.

O.D. Samarin, PhD, Associate Professor; E.A. Dmitrieva, student, National Research Moscow State University of Civil Engineering

1. Gagarin V.G., Kozlov V.V. O normirovanii teplozashchity i trebovaniyakh raskhoda energii na opotlenie i ventilyatsiyu v proekte aktualizirovannoy redaktsii SNiP "Teplovaya zashchita zdaniy" [About rationing thermal protection requirements and energy consumption for heating and ventilation in the project version of the updated SNiP "Thermal Protection of Buildings"]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Papers of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture]. 2013. Vol. 50. No. 31-2. Pp. 468–474.
2. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Trebovaniya k teplozashchite i energeticheskoy effektivnosti v proekte aktualizirovannogo SNiP "Teplovaya zashchita zdaniy" [The requirements to the thermal performance and energy efficiency in the project of the actualized SNiP "Thermal performance of the buildings"]. Zhilishchnoye stroitel'stvo [Residential construction]. 2011. No. 8. Pp. 2–6.
3. Samarina O.D. Voprosy ekonomiki v obespechenii mikroklimate zdaniy [Problems of economics in maintenance of a building microclimate]. 2nd ed., rev. and exp. Moscow. Izdatel'stvo ASV [ASV Publishers]. 2015. 134 p.

4. Gagarin V.G. Makroekonomicheskiye aspekty obosnovaniya energosberegayushchikh meropriyatiy pri povyshenii teplozashchity ograzhdayushchikh konstruktsiy zdaniy [Macroeconomic features of justification of energy saving measures during increase of thermal performance of building enclosures]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2010. No. 3. Pp. 8–16.
5. Dmitriyev A.N., Tabunshchikov Yu.A., Kovalyov I.N., Shilkin N.V. Rukovodstvo po ocenke ekonomicheskoy effektivnosti investitsiy v energosberegayushchiye meropriyatiya [Manual according to an economic efficiency of the investments in energy saving measures]. Moscow. Izdatel'stvo AVOK-Press [AVOK-Press Publishers]. 2005. 120 p.
6. Jedinák Richard. Energy Efficiency of Building Envelopes. Advanced Materials Research. 2013. Vol. 855. Pp. 39–42.
7. Allan Hani, Teet-Andrus Koiv. Energy Consumption Monitoring Analysis for Residential, Educational and Public Buildings. Smart Grid and Renewable Energy. 2012. Vol. 3. No. 3. Pp. 231–238.
8. Samarina O.D., Grishenkov M.V. Vybor konstruktsii svetoprozrachnykh ograzhdeniy zdaniya s primeneniem yego udel'noy teplozashchitnoy kharakteristiki [The choice of design of transparent envelopes of a building using its specific thermal performance]. Svetoprozrachnyye konstruktsii [Transparent constructions]. 2015. No. 1. Pp. 43–45.
9. Samarina O.D., Mishin N.Yu., Byzov N.I. Obosnovanie primeneniya svetoprozrachnykh konstruktsiy v obshchestvennom zdanii [Validation of using of transparent constructions in a public building]. Okna i dveri [Windows and doors]. 2016. No. 3. Pp. 14–15.

**Technical and economical choice of window units in a public building.
Pp. 92–94.**

O. D. Samarin, PhD, Associate Professor; **E. A. Dmitrieva**, student, National Research Moscow State University of Civil Engineering

1. Gagarin V.G., Kozlov V.V. O normirovanii teplozashchity i trebovaniyakh raskhoda energii na otoplenie i ventilyatsiyu v proekte aktualizirovannoy redaktsii SNiP "Teplovaya zashchita zdaniy" [About rationing thermal protection requirements and energy consumption for heating and ventilation in the project version of the updated SNiP "Thermal Protection of Buildings"]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura [Papers of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture]. 2013. Vol. 50. No. 31-2. Pp. 468–474.
2. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Trebovaniya k teplozashchite i energeticheskoy effektivnosti v proekte aktualizirovannogo SNiP "Teplovaya zashchita zdaniy" [The requirements to the thermal performance and energy efficiency in the project of the actualized SNiP "Thermal performance of the buildings"]. Zhilishchnoye stroitel'stvo [Residential construction]. 2011. No. 8. Pp. 2–6.
3. Samarin O.D. Voprosy ekonomiki v obespechenii mikroklimata zdaniy [Problems of economics in maintenance of a building microclimate]. 2nd ed., rev. and exp. Moscow. Izdatel'stvo ASV [ASV Publishers]. 2015. 134 p.