Панченко Сергей Викторович
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация энергетического оборудования и электрических машин» Азово-Черноморского инженерного института – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
panchenkosergey@mail.ru

Органов Иван Александрович
Студент магистратуры Азово-Черноморского инженерного института – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
orgivan@yandex.ru

Демченко Мария Станиславовна
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация энергетического оборудования и электрических машин» Азово-Черноморского инженерного института – филиала ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», г. Зерноград, Россия
24Marija04@mail.ru

Сравнительный анализ эффективности энергосберегающих технологий остекления для бюджетных учреждений в различных климатических условиях

Аннотация. В статье выполнен сравнительный анализ экономической эффективности трёх технологий повышения энергоэффективности окон в бюджетных учреждениях: применения низкоэмиссионной плёнки, стеклопакетов с К-стеклом и I-стеклом. На основе климатических данных пяти городов России (Сочи, Ростов-на-Дону, Москва, Новосибирск, Якутск) рассчитаны сроки окупаемости каждой технологии. Показано, что выбор оптимального решения зависит от суровости климата: в мягких условиях предпочтительна плёнка, а в холодных регионах становятся конкурентоспособными дорогие стеклопакеты. Приведены рекомендации для бюджетных организаций по выбору технологии с учётом местных климатических и тарифных условий.
Ключевые слова: энергосбережение, низкоэмиссионная плёнка, К-стекло, I-стекло, срок окупаемости, климатические зоны.

Panchenko Sergey V.
Organov Ivan A.
Demchenko Maria S.

Comparative analysis of the effectiveness of energy-saving glazing technologies for budget institutions in various climatic conditions

Abstract. The article provides a comparative analysis of the economic efficiency of three technologies for improving the energy efficiency of windows in budget institutions: the use of low-emission films, double-glazed windows with K-glass and I-glass. Based on the climatic data of five Russian cities (Sochi, Rostov-on-Don, Moscow, Novosibirsk, and Yakutsk), the payback periods for each technology are calculated. It is shown that the choice of the optimal solution depends on the severity of the climate: in mild conditions, film is preferred, and in cold regions, expensive double-glazed windows become competitive. Recommendations are given for budget organizations on the choice of technology, taking into account local climatic and tariff conditions.
Key words: energy saving, low-emission film, K-glass, I-glass, payback period, climatic zones.

В настоящее время для бюджетных учреждений рассматриваются три основных варианта повышения энергоэффективности окон: нанесение низкоэмиссионных пленок на существующие стекла, установка стеклопакетов с так называемым К-стеклом (с «твердым» низкоэмиссионным покрытием) и стеклопакетов с I-стеклом (с «мягким» многослойным покрытием) [1].

Применение низкоэмиссионной пленки позволяет снизить теплопотери через окна на 40% за счет снижения коэффициента эмиссии с 0,835 (обычное стекло) до 0,24…0,28. Наилучшими теплотехническими характеристиками обладают стеклопакеты с I-стеклом, обеспечивающие снижение теплопотерь на 60–65%, чуть хуже показатели у К-стекла (45–50%). Стоимость квадратного метра плёнки составляет 1500…2000 рублей против 4500…5500 рублей за К-стеклопакет и 6000…7000 рублей за I-стеклопакет [1].

Для бюджетных учреждений решающим становится срок окупаемости. Низкоэмиссионная плёнка окупается за 2,5…3 года, тогда как для К-стекла этот период возрастает до 5…6 лет, а для I-стекла – до 7…8 лет. Такая разница объясняется более высокой стоимостью стеклопакетов и необходимостью полного демонтажа оконных блоков, что увеличивает объём работ.

Важно учитывать и эксплуатационные аспекты. Для модернизации существующих окон без замены стёкол целесообразно использовать энергосберегающую плёнку [2]. Установка К- и I-стекла требует замены всего стеклопакета – более сложного мероприятия, связанное с демонтажными работами, риском повреждения конструкций и необходимостью организации временного отопления помещений в холодный период. Кроме того, как отмечают специалисты, I-стекло требует особых условий транспортировки и монтажа из-за меньшей стойкости покрытия к механическим воздействиям [3].

Помимо эксплуатационных особенностей на эффективность применения той или иной технологии существенно влияют климатические условия места расположения здания [4]. Для оценки влияния климатических условий на экономическую эффективность рассматриваемых технологий были выбраны пять городов, представляющих основные климатические зоны Российской Федерации: от влажных субтропиков (Сочи) до резко континентального климата (Якутск). Помимо градусо-суток отопительного периода (ГСОП), в таблицу 1 включены продолжительность отопительного периода $t_{от}$ и средняя температура наружного воздуха за этот период $t_{ср}$ [5].

Таблица 1 – Климатические параметры рассматриваемых городов

Город	ГСОП, °С·сут	$t_о$, ^{0}С	$t_{ср}$, ^{0}С
Сочи	2409	135	+4,2
Ростов-на-Дону	3027	166	+1,8
Москва	4058	214	-0,7
Новосибирск	5772	232	-4,9
Якутск	9956	258	-18,6

На основе приведённых климатических данных выполним расчёт экономической эффективности для каждой технологии. Для этого используем следующую методику, позволяющую определить годовую экономию тепловой энергии и срок окупаемости инвестиций.

Годовая экономия тепловой энергии при замене окон напрямую связана с градусо-сутками отопительного периода (ГСОП) [6]. Удельные теплопотери Q, кВт·ч/м^2 через 1 м² окна за отопительный период составляют

$$Q = 0,024 \cdot \frac{ГСОП}{R}, \quad (1)$$

где R – приведённое сопротивление теплопередаче окна, м²· °С/Вт;

Для каждой технологии снижение теплопотерь ΔQ_i рассчитывается как разница между теплопотерями через базовое окно (R_0) и модернизированное (Ri):

$$\Delta Q_i = 0,024 \cdot ГСОП \cdot \left(\frac{1}{R_0} - \frac{1}{R_i} \right), \quad (2)$$

Годовая экономия S_i, руб., в денежном выражении

$$S_i = \Delta Q_i \cdot C_i, \quad (3)$$

где Ci – тариф на тепловую энергию, руб./кВт·ч.

Тариф на тепловую энергию различен для разных регионов и может существенно варьироваться в зависимости от местных условий, способов теплоснабжения и тарифной политики, однако для обеспечения сопоставимости результатов при анализе влияния только климатического фактора мы приняли единый тариф 2,5 руб./кВт·ч (≈ 2900 руб./Гкал).

Срок окупаемости T_i, лет, определится по формуле

$$T_i = \frac{K_i}{S_i}. \quad (4)$$

где K_i – удельные капитальные затраты, руб./м².

Результаты расчетов приведем в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнительные расчёты для различных климатических зон

Город	ГСОП, °С·сут	Технология	ΔQ_i, кВт·ч/м²	S_i,, руб./м²	T_i, лет
Сочи	2409	Плёнка	127,3	318,2	5,5
		К-стекло	166,7	416,7	12,0
		I-стекло	185,7	464,3	14,0
Ростов-на-Дону	3027	Плёнка	175,0	437,5	4,0
		К-стекло	222,2	555,6	9,0
		I-стекло	236,4	590,9	11,0
Москва	4058	Плёнка	233,3	583,3	3,0
		К-стекло	313,3	833,3	6,0
		I-стекло	325,0	812,5	8,0
Новосибирск	5772	Плёнка	318,2	795,5	2,2
		К-стекло	444,4	1111,1	4,5
		I-стекло	472,7	1181,8	5,5
Якутск	9956	Плёнка	466,7	1166,7	1,5
		К-стекло	714,3	1785,7	2,8
		I-стекло	742,9	1857,1	3,5

На основании данных, представленных в таблице 2, построим график зависимости изменения снижения теплопотерь от градусо-суток отопительного периода, представленный на рисунке 1.

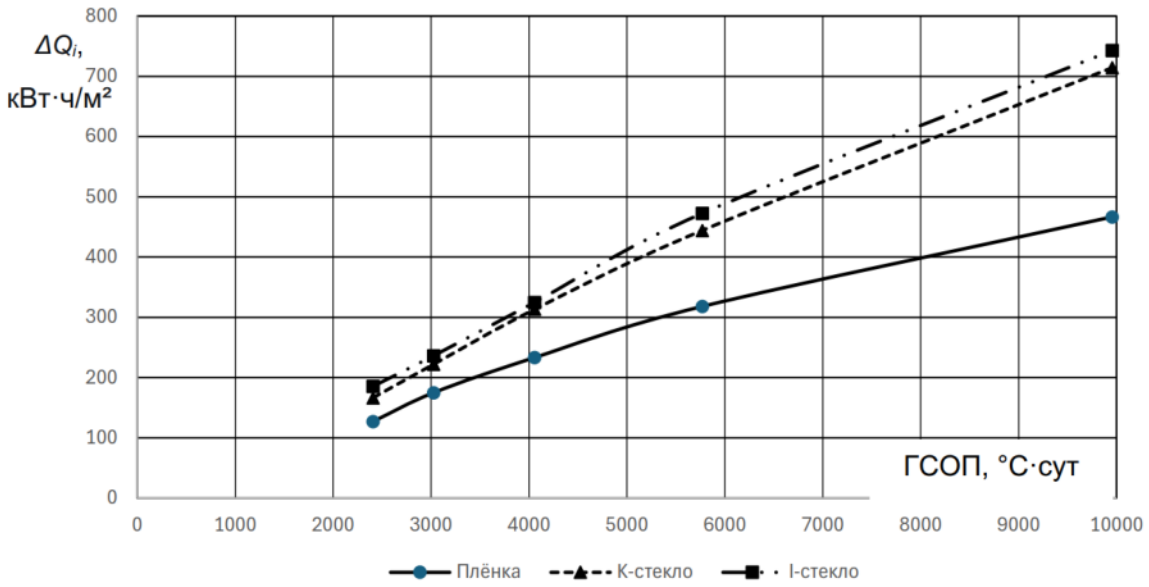


Рисунок 1 – Зависимость снижения теплопотерь от градусо-суток отопительного периода для различных технологий

Проведённый анализ данных таблицы 1 показал, что в регионах с мягким климатом (ГСОП < 3000 °С·сут) повышение энергоэффективности за счет рассматриваемых технологий практически нецелесообразно, так как применение низкоэмиссионной плёнки окупается за 5,5 лет, а К-стекла и I-стекла более чем за 10 лет. В холодных регионах (ГСОП > 5000 °С·сут) более дорогие стеклопакеты с К- и I-стеклом демонстрируют приемлемые сроки окупаемости (менее 5 лет) и обеспечивают большую годовую экономию энергии, что делает их конкурентоспособными. Таким образом, для каждого конкретного объекта требуется индивидуальный расчёт с учётом местных климатических и тарифных условий, а также объёма доступного финансирования.

На основании проведённого анализа можно предложить следующие практические рекомендации. В регионах с мягким климатом (ГСОП < 3000 °С·сут, например, Краснодарский край, Ростовская область) целесообразно применять низкоэмиссионную плёнку, как наиболее быстро окупаемое решение. В регионах с умеренным климатом (ГСОП 3000…5000 °С·сут, Центральная Россия) выбор зависит от доступного бюджета: при ограниченном финансировании предпочтительна плёнка, при наличии средств на модернизацию К-стеклопакеты, обеспечивающие больший энергосберегающий эффект. В холодных регионах (ГСОП > 5000 °С·сут, Сибирь, Дальний Восток, Якутия) наиболее эффективны стеклопакеты с I-стеклом, которые, несмотря на высокую начальную стоимость, окупаются за приемлемый срок (3,5–5,5 лет) и дают максимальную экономию тепловой энергии в течение всего срока службы.

Литература и источники

1. Панченко С.В., Органов И.А., Демченко М.С. Энергосбережение в бюджетных организациях за счет использования низкоэмиссионной пленки на окнах // Современные научные исследования: проблемы и перспективы: сб. мат. VIII междунар. науч.-практ. конф. – Киров: МЦИТО, 2025. – С. 175-179.

2. Чехонадских А.А., Семенова Э.Е. Анализ проектирования зданий с применением энергосберегающих светопрозрачных конструкций // Высокие технологии в строительном комплексе. – 2025. – № 2. – С. 29-32.

3. Попов А.П., Семенова Э.Е. Анализ энергоэффективности оконных конструкций пассивых домов // Строительство и реконструкция: сб. науч. тр. II всерос. науч.-практ. конф. – Курск: ЮЗГУ, 2020. – С. 162-167.

4. Самарин О.Д., Лушин К.И. Оценка влияния изменения климата на энергопотребление систем обеспечения микроклимата зданий // Жилищное строительство. – 2020. – № 1-2. – С. 21-24.

5. СП 131.13330.2020. Строительная климатология: актуализированная редакция СНиП 23-01-99*: утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 24 декабря 2020 г. № 859/пр: дата введения 2021-06-25. – М.: Минстрой России, 2020. – 154 с.

6. СП 50.13330.2024. Тепловая защита зданий: актуализированная редакция СНиП 23-02-2003: утверждён приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 15 мая 2024 г. № 327/пр: дата введения 2024-06-16. – М.: Минстрой России, 2024. – 74 с.