

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СОЛНЦЕЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ

Дворецкий А.Т.

ФГАОУ ВО «КФУ им. В.И. Вернадского»
 Институт «Академия строительства и архитектуры»
 295493, Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181
 E-mail: erces_crimea@mail.ru

Аннотация. Вопрос обеспечения комфортных условий жизнедеятельности человека лежит в основе создания и улучшения микроклимата помещения. Это может быть достигнуто так же за счёт энергетической эффективности солнцезащитных устройств. Этот вопрос актуален не только для холодного периода года, когда необходим обогрев помещений, но и для теплого периода. В холодный период интерес представляет результирующая тепловая энергия, которая есть разница между поступлением и потерей энергии через светопрозрачные конструкции. Для выбора стеклопакета учитывались поступающая солнечная радиация, наружная и внутренняя температуры. Климатические условия Москвы по значениям среднегодовой температуры и солнечной радиации 1400...1700 солнечных часов в году сравнимы с климатическими условиями Стокгольма, поэтому снижение годового потребления энергии на климатизацию помещения за счёт наружных солнцезащитных устройств в Москве может быть как в Стокгольме - 23%. По этим параметрам климата в Париже и Симферополе снижение годового потребления энергии на климатизацию помещения за счёт наружных солнцезащитных устройств в Симферополе больше, чем в Париже на 27,5%.

Предмет исследований: Энергетическая эффективность солнцезащитных конструкций и устройств.

Материалы и методы: Определение энергоэффективности солнцезащитных устройств на основе подбора климатических условий городов России и столиц европейских стран.

Результаты: Определено количество энергии, идущее на отопление, которое компенсируется солнечной энергией и количество солнечной энергии, экранируемой наружными солнцезащитными устройствами. Результаты этих расчётов и климатические параметры позволили определить снижение потребления энергии необходимое для климатизации здания в течении года.

Выводы: Грамотное использование солнцезащитных устройств позволяет существенно снизить потребление энергии на климатизацию помещения. Однако, в проектировании зданий недостаточно используются технологии с пассивным солнечным нагревом и охлаждением. Причины следующие: 1. Экономические факторы – в большинстве случаев новые технологии и решения дороже тех, которые уже применяются, хотя быстро окупаются (для низкоэнергетических зданий 5-7 лет). 2. Отсутствие технических знаний, а также нежелание им обучаться. 3. Нежелание и неумение использовать «новые» технологии.

Ключевые слова: климатизация здания, климатические условия, солнцезащитное устройство, пассивный солнечным нагрев и охлаждение, результирующая тепловая энергия, низкоэнергетические здания.

ВВЕДЕНИЕ

Большое внимание в строительных нормах уделяется сокращению энергии, потребляемой при отоплении зимой, но во многих районах охлаждение более важно. Наиболее распространённой ошибкой при проектировании зданий есть неправильная ориентация здания, между прочим, то, что было понятно в течении более двух тысяч лет. То, что греческий писатель Эсхил подчёркивал для варваров: у них не хватает знаний повернуть здание главным фасадом к югу. При этом эффект низкого потребления энергии на климатизацию здания, в том числе, существенно зависит от правильно спроектированных солнцезащитных устройств/

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ

В большинстве климатов тщательно продуманная низкоэнергетическая архитектура может существенно сократить энергетические потребности здания на отопление и охлаждение при отсутствии существенного увеличения стоимости. В исследовании проектов домов с

низкоэнергетической архитектурой (подтверждено реальным строительством домов) в Девисе, Калифорния, летние пиковые потребности в энергии дома упали с 3,6 кВтч до 2 кВтч и годовое использование энергии на отопление и охлаждение упало на 67 %. Если бы три миллиона домов, построенных в Калифорнии с 1980 года, были хорошо спроектированы с учетом солнечной архитектуры, то можно было бы снизить критическую летнюю пиковую потребность в энергии на 3000-6000 мегаватт без дополнительных затрат [1].

Снижение тепловых потерь за счёт буферных помещений, как элемента низкоэнергетической архитектуры, описаны в статье [2].

Преимущества пассивной солнечной энергии [3]:

- Энергоэффективность: снижение счетов за электроэнергию круглый год.
- Привлекательная жилая среда: большие окна и красивый вид, солнечные интерьеры, свободная планировка.

- Комфорт: тихо (отсутствие рабочего шума), прочная конструкция, теплее внутри зимой, летом прохладнее (даже при отключении электричества).

- Низкие эксплуатационные расходы: долговечность, сокращение операций и ремонтов.

- Инвестиции: независимость от роста стоимости топлива в будущем сохранится, экономия денег еще долго после возмещения любых первоначальных затрат.

- Экологические проблемы: чистая, возобновляемая энергия для борьбы с глобальным потеплением.

Эффект низкого потребления энергии на климатизацию здания благодаря эффективной солнцезащиты описан в работе [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Солнечная радиация зависит от положения солнца в небе (высота и азимут) и состояние атмосферы. Эта позиция меняется в течение года и в течение дня.

Интенсивность суммарной солнечной радиации на вертикальный южный фасад в отопительный период рассчитана по методике [5]. С учётом действительной облачности удельная солнечная радиация на вертикальный фасад за отопительный

период показана на гистограмме (рис. 1). Все города, указанные на гистограмме, находятся на широтах между 44 и 55⁰С с.ш. Однако, из-за облачности солнечная радиация, приходящая на южный фасад, сильно отличается. Близкое по широте местности расположение Москвы и Читы не обеспечивает равный приход солнечной радиации за отопительный период. Существенную роль играет облачность. Прозрачная атмосфера в Чите зимой и практически отсутствие солнечных дней зимой в Москве приводит к тому, что в Чите почти в три раза солнце активнее, чем в Москве за отопительный период.

Для выбора стеклопакета интерес представляет результирующая тепловая энергия (рис. 1), которая есть разница между поступлением и потерей энергии [6]. Учитывались поступающая солнечная радиация, наружная и внутренняя температуры. Расчёты выполнены для стеклопакета с двойным остеклением с твёрдым селективным покрытием (К-стекло) 4М+К4 со спаренным переплётом.

Результаты расчётов представлены в Таблице 1. Несмотря на то, что среднесуточная наружная температура за отопительный период в Чите - 11,3⁰С, а в Симферополе +2,6, результирующая энергия в Чите больше за счёт поступающей солнечной радиации.

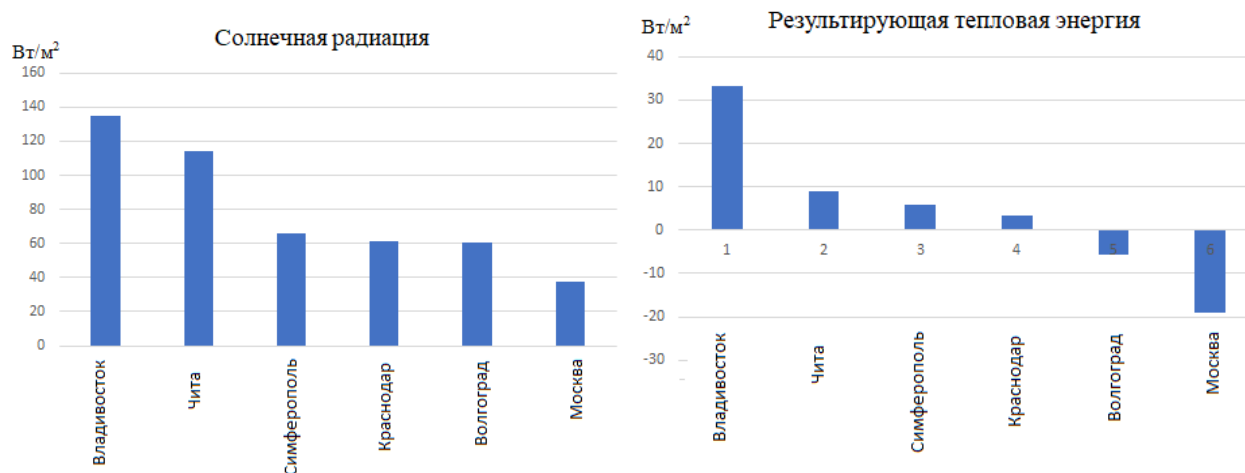


Рис. 1. Суммарная солнечная радиация и результирующая тепловая энергия на вертикальный фасад южной ориентации при действительной облачности за отопительный период, Вт/м²

Fig. 1. Total solar radiation and resulting thermal energy on a vertical façade of southern orientation with actual cloudiness during the heating period, W/m²

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

В качестве примера рассмотрим расчёт результирующей тепловой энергии для окон южной ориентации для Владивостока.

Отопительный период длится 6,6 месяца или 198 дней (СП 131.13330.2012 Строительная климатология. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99*- Москва. 2012).

Среднесуточная температура -4,3⁰С и среднее значение облачности в баллах 4,3 за этот период. Суммарная солнечная радиация за отопительный период для южного фасада равна 170,6 кВтч/ м² или 237 Вт/м². И с учётом действительной облачности удельная суммарная солнечная радиация облачности равна 135,1 Вт/ м².

Инсоляционные поступления для стеклопакета с двойным остеклением с твёрдым селективным

покрытием (К-стекло) 4М+К4 со спаренным переплётом равны

$$Q_{\text{инс}} = I_{\text{юж}} \times \tau_1 \times \tau_2 = \frac{135,1 \text{ Вт}}{\text{м}^2} \times 0,75 \times 0,76 = 77 \text{ Вт/м}^2 \quad (1)$$

Потери за счёт разницы температур наружного и внутреннего воздуха:

$$Q_{\text{пот}} = K \times (t_{\text{вн}} - t_{\text{н}}) = \frac{1,8 \text{ Вт}}{\text{м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \times (20 - (-4,3)) = 1,8 \times 24,3 = \frac{43,7 \text{ Вт}}{\text{м}^2} \quad (2)$$

Результирующая энергия окна за один час равна

$$\Delta Q_{\text{ок}} = Q_{\text{инс}} - Q_{\text{пот}} = 77 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} - 43,7 \text{ Вт/м}^2 = 33,3 \text{ Вт/м}^2 \quad (3)$$

И за отопительный период:

$$\Delta Q_{\text{ок}}^{\text{отоп}} = 33,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \times 198 \times 24 = 158,2 \text{ кВт/м}^2 \quad (4)$$

Тепловая солнечная энергия для окон южной ориентации во Владивосток за отопительный период равна

$$Q_{\text{инс}}^{\text{отоп}} = 77 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \times 198 \times 24 = 366 \text{ кВт/м}^2 \quad (5)$$

Такое количество энергии, идущее на отопление, компенсируется солнечной энергией в зданиях, спроектированных по законам низкоэнергетической архитектуры.

Солнечная защита должна быть спроектирована так, чтобы в течении отопительного периода в помещение поступало как можно больше тепла от солнца (Свод Правил СП 370.1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования» // И.Л. Шубин, А.В. Спиридонов, Дворецкий А.Т., Клевец К.Н., Моргунова М.А.).

На рисунке 2 показана солнечная радиация на вертикальных поверхностях для июля месяца для 60° с.ш. Это широта Москвы и Стокгольма [7].

Таблица 1. Тепловая солнечная энергии в отопительный период

Table 1. Thermal solar energy during the heating period

| | Продолжит. Отопит. периода, сутки | Ср. темп. °С | Град усотки | Сред. облачность в баллах | Град ус (с.ш.) | Солнеч радиация I _{юж} Вт/м ² | Результирующая энергия ΔQ _{ок} Вт/м ² | Тепловая солнечная энергия кВтч/м ² , за отоп. период |
|-------------|-----------------------------------|--------------|-------------|---------------------------|----------------|---|---|--|
| Владивосток | 198 (6,6) | -4,3 | 4811 | 4,3 | 44 | 135,1 | 33,3 | 366 |
| Чита | 238 (7,8 мес.) | -11,3 | 7449 | 5 | 52 | 114 | 9 | 371 |
| Симферополь | 154 (5) | 2,6 | 2680 | 7,3 | 44 | 66 | 6 | 139 |
| Краснодар | 145 (4,8) | 2,5 | 2538 | 7,5 | 45 | 61,3 | 3,5 | 122 |
| Волгоград | 176 (5,8) | -2,3 | 3925 | 7,4 | 48 | 60,3 | -5,7 | 145 |
| Москва | 205 (6,8) | -2,2 | 4551 | 8,2 | 55 | 37,3 | -19 | 103 |

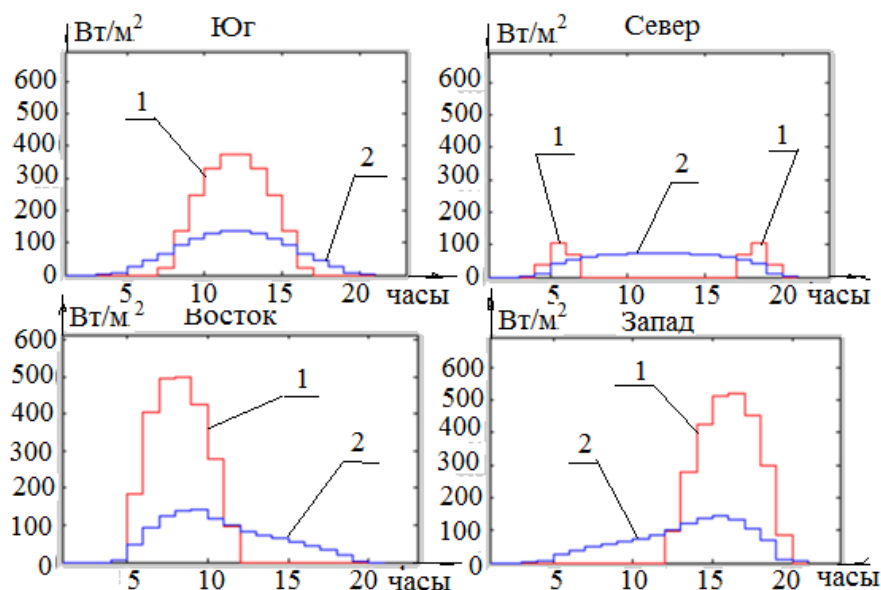


Рис. 2. Солнечная радиация на северной, восточной, западной и южной вертикальной поверхности при 50°с.ш.
1 – прямая солнечная радиация; 2 – рассеянная солнечная радиация
Fig. 2. Solar radiation in the northern, eastern, western and southern vertical surface at 50°N.
1 – direct solar radiation; 2 – scattered solar radiation

На графиках видно, что:

- Северные фасады получают самый низкий уровень солнечной радиации. Только небольшое количество солнечной радиации облучает вертикальную поверхность в начале утра и поздно вечером летом.

- Восточные и западные фасады показывают симметричный рисунок: восточная поверхность будет получать большую часть излучения до полудня, тогда как западная поверхность получает его после полудня. Можно видеть, что освещенность максимальна, когда она состоит из части прямого излучения. После полудня для восточного фасада и до полудня для западного фасада излучение в основном состоит из диффузной части, идущей с неба.

- Южные фасады получают солнечную радиацию почти в течение всего дня. Вот почему необходимо обеспечить максимальное прохождение солнечного излучения в здание зимой и защищать фасады летом, чтобы избежать

перегрева. Из-за низкой высоты солнца освещенность выше зимой, чем летом.

Косвенно, с достаточной долей вероятности, оценить энергетическую эффективность СЗУ в Симферополе и Москве можно следующим образом:

Климатические условия Москвы очень схожи с климатическими условиями Стокгольма. По уровню солнечной радиации Москва и Стокгольм находятся в одинаковых условиях: 1400 -1700 солнечных часов в году (рис. 3).

Что касается среднемесячной и среднегодовой температур этих городов, то судя по графикам (рис. 4) среднегодовые значения температур отличаются на 0,8°С.

Климатические условия Симферополя и Парижа мало отличаются по температуре. Среднегодовые значения температур отличаются на 1,9°С (рис. 4). Однако, количество солнечных дней в году в Симферополе значительно больше, чем в Париже: 2000 и 1700 соответственно (рис. 3).

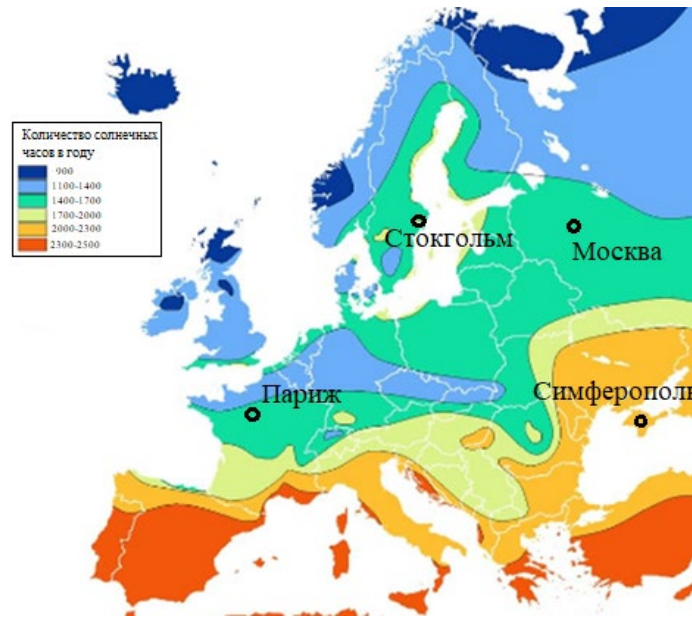


Рис. 3. Солнечная радиация в количестве солнечных часов в Европе
 Fig. 3. Solar radiation in number of sunshine hours in Europe

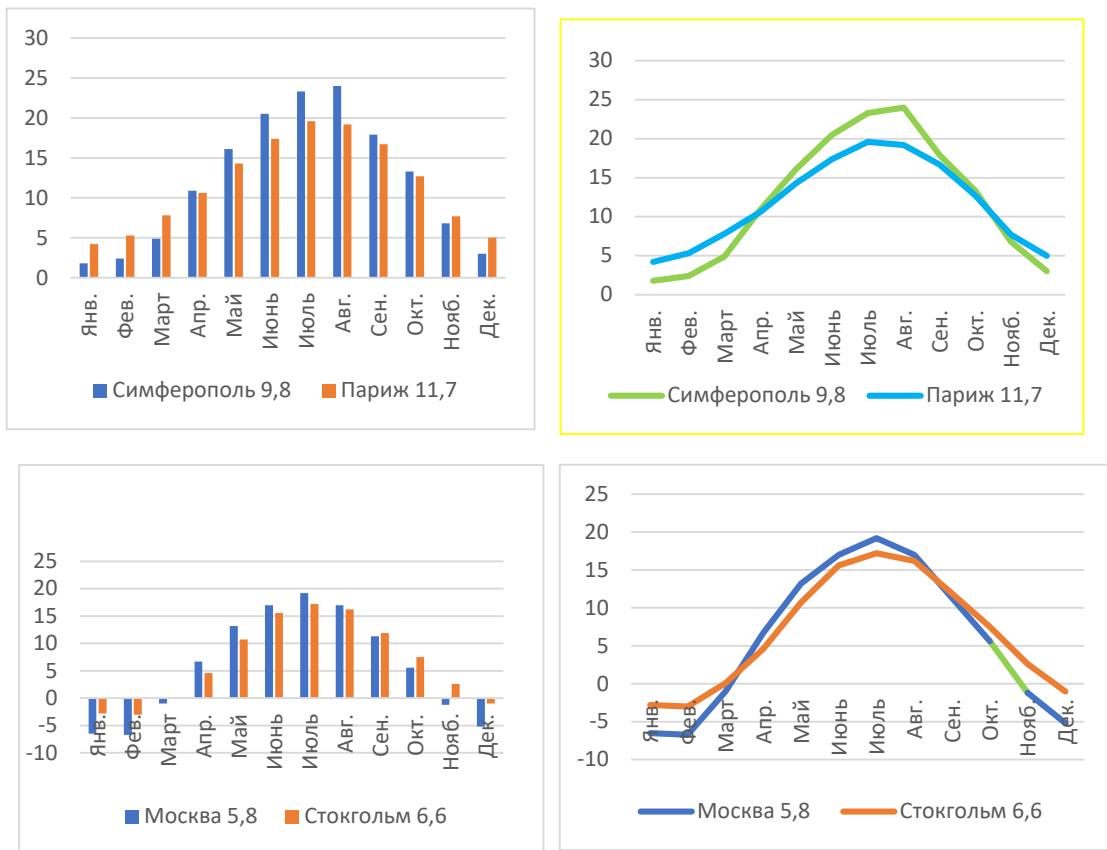


Рис. 4. Среднемесячная и среднегодовая температуры Москвы, Стокгольма, Симферополя, Парижа,
 Fig. 4. Average monthly and average annual temperatures of Moscow, Stockholm, Simferopol, Paris,

На рисунке 5 показаны потребности в энергии для отопления, кондиционирования и освещения для офиса площадью 20 м² в Стокгольме и Париже. Офисное помещение оборудовано прозрачным двойным остеклением (остекление С согласно EN 14501) и находится на южной стороне. Светопрозрачная поверхность представляет собой 80% фасада. Солнцезащитное устройство (СЗУ) установлено снаружи [8].

По данным Европейской организации по солнечной защите (ESSO – European Solar Shading Organization, 2012) использование внешних солнцезащитных устройств существенно сокращает потребности в энергии для отопления, кондиционирования и освещения. На рисунке 5 гистограмма потребления энергии на климатизацию помещения южной ориентации.

Использование внешнего жалюзи постоянно приводит к значительной экономии энергии во всех случаях. Можно видеть, что потребности в обогреве выше при установке жалюзи. Это происходит из-за отсутствия свободной солнечной энергии, поступающей в комнату, когда СЗУ закрывает оконный проём.

Действительно, принцип работы жалюзи основан на визуальном комфорте жителя: жалюзи опускаются, когда естественный свет на датчике, установленном на столе, достигает 500 люкс летом и 900 люкс зимой.

Таким образом, затенение может быть увеличено в солнечные дни зимой, что ограничивает свободный нагрев комнаты. Принцип работы также предполагает, что искусственное освещение активируется только тогда, когда устройство солнечной защиты полностью открыто, а уровень дневного света недостаточен. Поэтому присутствие жалюзи не оказывает никакого влияния на потребности в искусственном освещении.

Однако, поскольку потребности в энергии для кондиционирования воздуха значительны, общие результаты позитивны и приводят к значительной экономии энергии.

Энергетическая эффективность солнцезащитных устройств в Стокгольме доказана тем, что в течении года потребление энергии на климатизацию помещения снижается на 23% при использовании жалюзи (рис. 5). Так как климатические условия Москвы очень схожи с климатическими условиями Стокгольма, то можно сделать вывод, что снижение потребления энергии в Москве будет схожим со Стокгольмом.

В течении года потребление энергии на климатизацию помещения в Париже снижается на 27,5% при использовании жалюзи. Учитывая то, что солнечной радиации в течении года в Симферополе значительно больше, чем в Париже, и среднегодовая температура близка по значениям, снижение потребления энергии на климатизацию помещения будет больше в Симферополе (рис. 5).

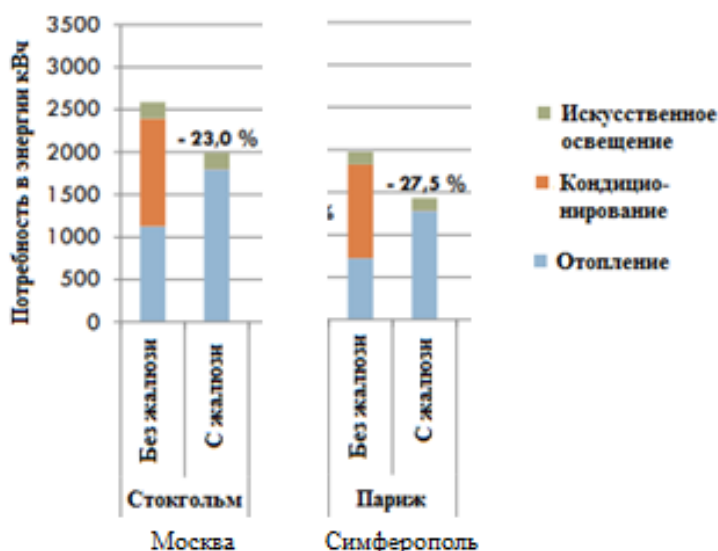


Рис.5. Энергопотребление в помещении южного фасада: без солнцезащиты и с наружной солнцезащитой
Fig.5. Energy consumption indoors on the southern façade: without sun protection and with external sun protection

Почему до сих пор мало учитывается солнечная энергия? Основные причины в следующем:

1. Экономические факторы – в большинстве случаев новые технологии и решения дороже тех, которые уже применяются, хотя быстро окупаются (для низкоэнергетических зданий 5-7 лет).
2. Отсутствие технических знаний, а также нежелание им обучаться.

3. Нежелание и неумение использовать «новые» технологии.

4. Архитектурные (эстетические) факторы – часто это предрассудки необученных заказчиков и подрядчиков.

ВЫВОДЫ

Грамотное использование солнцезащитных устройств позволяет существенно снизить потребление энергии на климатизацию помещения. Так, например, в Москве снижение потребления энергии не меньше чем на 23%, в Симферополе на 27,5%. Особенно это эффективно в регионах с большим количеством солнечного сияния (больше 2000 часов в год).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. David A. Bainbridge. Passive Solar Architecture. Heating, Cooling, Ventilation and Daylighting Using Nature Flows/ David A. Bainbridge, Ken Haggard// Chelsea Green Publishing – Vermont. 2011. 300 pages.
2. Alexander Dvoretzky, Ksenia Klevets. Heat Loss Reduction of Energy-Efficient Home by Buffer Areas/ MOTROL, Vol. 16, No 5. Lublin, Poland. 2014, C. 141-146.
3. Passive Solar Design Strategies: Guidelines for Home Building. Passive Solar Industries, Council National Renewable Energy Laboratory, Charles Eley Associates. Seattle, Washington. 1992. 85 pages.
4. Дворецкий А.Т., Митрофанова С.А., Клевец К.Н. Солнцезащита как элемент пассивной низкоэнергетической архитектуры// «Строительство и техногенная безопасность» Спецвыпуск, Симферополь, 2022. С. 11-17.
5. Гагарин В.Г., Коркина Е.В., Шмаров И.А. и др. Расчеты теплоступлений в здание от проникающей солнечной радиации за отопительный период/ Методическое пособие. Москва. 2017. 111 с.
6. Дворецкий А.Т., Клевец К.Н. Избыток тепловой энергии в системах пассивного солнечного нагрева здания// Строительство и реконструкция - Орёл. №5 (67), 2016. С. 79-86.
7. Sergeychuk O.V. Optimization of the Form of Energy Conservation Buildings // *Motornizacja I*

energetyka rolnictwa. Lublin, 2008. – No 10A. pp. 121-130.

8. Solar shading for low energy building/European Solar Shading Organization/ Edition 1. 2012. 48 pages.

REFERENCES

1. David A. Bainbridge. Passive Solar Architecture. Heating, Cooling, Ventilation and Daylighting Using Nature Flows/ David A. Bainbridge, Ken Haggard// Chelsea Green Publishing – Vermont. 2011. 300 pages.
2. Alexander Dvoretzky, Ksenia Klevets. Heat Loss Reduction of Energy-Efficient Home by Buffer Areas/ MOTROL, Vol. 16, No 5. Lublin, Poland. 2014, C. 141-146.
3. Passive Solar Design Strategies: Guidelines for Home Building. Passive Solar Industries, Council National Renewable Energy Laboratory, Charles Eley Associates. Seattle, Washington. 1992. 85 pages.
4. Dvoretzky A.T., Mitrofanova S.A., Klevets K.N. Sun protection as an element of passive low-energy architecture// “Construction and technogenic safety” Special issue, Simferopol, 2022. pp. 11-17.
5. Gagarin V.G., Korkina E.V., Shmarov I.A. and others. Calculations of heat input into a building from penetrating solar radiation during the heating period / Methodological manual. Moscow. 2017. 111 p.
6. Dvoretzky A.T., Klevets K.N. Excess thermal energy in passive solar heating systems of a building // Construction and reconstruction - Orel. No. 5 (67), 2016. pp. 79-86.
7. Sergeychuk O.V. Optimization of the Form of Energy Conservation Buildings // *Motornizacja I energetyka rolnictwa*. Lublin, 2008. – No 10A. pp. 121-130.
8. Solar shading for low energy building/European Solar Shading Organization/ Edition 1. 2012. 48 pages.

ENERGY EFFICIENCY OF SUN PROTECTION DEVICES

Dvoretzky A.T.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation, erces_crimea@mail.ru

Abstract. The issue of ensuring comfortable living conditions for humans lies at the heart of creating and improving the indoor microclimate. This can also be achieved due to the energy efficiency of solar shading devices.

This issue is relevant not only for the cold period of the year, when heating of the premises is necessary, but also for the warm period. During the cold period, the resulting thermal energy is of interest, which is the difference between the energy gained and lost through translucent structures. To select a double-glazed window, incoming solar radiation, external and internal temperatures were taken into account.

Since the climatic conditions of Moscow are similar in terms of average annual temperature and solar radiation (1400 -1700 hours of sunshine per year) to the climatic conditions of Stockholm, the reduction in annual energy consumption for air conditioning of premises due to external sun-protection devices in Moscow is the same as in Stockholm - 23%. Based on these climate parameters in Paris and Simferopol, the reduction in annual energy consumption for room air conditioning due to external sun-protection devices in Simferopol is greater than in Paris (27.5%).

Subject of research: The subject of research is the energy efficiency of sun-protection structures and devices.

Materials and methods: The article proposes a determination of the energy efficiency of sun protection devices based on the similarity of climatic conditions of Russian cities and the capitals of European countries.

Results: The amount of energy spent on heating, which is compensated by solar energy, and the amount of solar energy screened by external solar shading devices were determined. The results of these calculations and climatic parameters made it possible to determine the reduction in energy consumption necessary to air-condition the building throughout the year.

Conclusions: Proper use of sun protection devices can significantly reduce energy consumption for room air conditioning. However, passive solar heating and cooling technologies are underutilized in building design. The reasons are as follows: 1. Economic factors - in most cases, new technologies and solutions are more expensive than those that are already in use, although they quickly pay for themselves (for low-energy buildings 5-7 years). 2. Lack of technical knowledge, as well as reluctance to learn it. 3. Reluctance and inability to use "new" technologies.

Key words: building air conditioning, climatic conditions, sun protection device, passive solar heating and cooling, resulting thermal energy, low-energy buildings.