

УДК 699.86:697.7

А.Т. ДВОРЕЦКИЙ

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗДАНИЙ С ПАССИВНЫМ СОЛНЕЧНЫМ НАГРЕВОМ НА ЮГЕ РОССИИ

В статье проанализирован потенциал пассивного солнечного нагрева зданий в холодный период в России. Расчет поступления тепловой солнечной энергии через светопрозрачные конструкции произведен с учетом действительной облачности. Результаты вычислений сопоставлены с тепловыми потерями через окна южной ориентации, и определена результирующая удельная тепловая энергия в течение отопительного периода для шести городов РФ. Показано, что учет пассивного солнечного нагрева в зданиях с низкоэнергетической архитектурой на юге России существенно уменьшит энергозатраты на отопление.

Ключевые слова: пассивный солнечный нагрев, результирующая тепловая энергия, климатические параметры, светопрозрачные конструкции.

DOI 10.32683/0536-1052-2020-744-12-42-48

Определенное количество необходимой энергии может получаться из возобновляемых источников энергии (ВИЭ), часть из которых производится в самом здании или рядом с ним. Каждая страна должна сама определять процент зданий с почти нулевым потреблением энергии, исходя из своих климатических и экономических условий и строительных традиций [1, 2]. Многие государства уже осуществляют программы развития энергосберегающего строительства, например, Германия [3].

В Новой Зеландии и даже в более прохладных регионах много зимних солнечных часов можно использовать солнечное отопление. Так, на Южном острове (средняя температура в июле +5 °С) большую часть зимнего периода небо остается чистым. Прямые солнечные лучи гораздо эффективнее, чем отраженные при пасмурном небе для согревания домов [4].

В настоящее время существует широкий спектр энергосберегающих пассивных солнечных технологий. Являются ли они экономически эффективными, практичными и достаточно привлекательными застройщикам, зависит от очень специфических факторов, таких как местные климатические и рыночные характеристики.

Подходы к проектированию энергоэффективных зданий, прежде всего, зависят от климата и факторов, связанных с традициями быта и особенностями местной строительной индустрии. Например, стандарт пассивного дома Кореи был заново определен, учитывая климатические условия страны и образ жизни. Конечно, эти стандарты не являются окончательными и по мере накопления опыта строительства и эксплуатации могут измениться [5].

Основной принцип сокращения затрат на протяжении жизненного цикла здания заключается в уменьшении совокупной стоимости владения им за

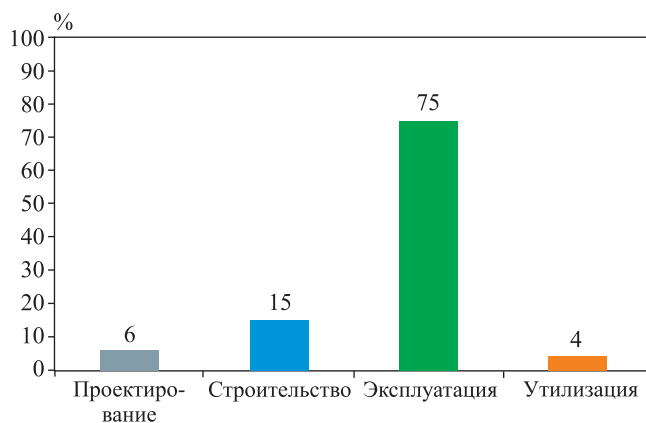


Рис. 1. График усреднения затрат на протяжении жизненного цикла «стандартного» жилого дома

счет экономически обоснованного увеличения первоначальных затрат на стадии проектирования и строительства с целью внедрения энергоэффективных, экологических технологий, в результате чего на стадии эксплуатации существенно сокращаются операционные расходы, которые в среднем составляют 75 % от общих затрат (рис. 1) [6].

По данным Министерства регионального развития РФ (2012 г.) средние затраты на отопление в жилых зданиях на всей территории России составляют $350\text{--}380 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год (в 5–7 раз выше, чем в Германии и других странах ЕС), а в некоторых типах зданий они достигают $680 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год. Более того, по данным Мосгосэкспертизы, несмотря на то что в СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий» (актуализированная редакция СНиП 23-02–2003) для многоэтажных зданий, проектируемых для Москвы, для удельных затрат на отопление и вентиляцию был установлен предел в $95 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год, в построенных зданиях (что было установлено неоднократными проверками зданий, возведенных в 2003–2010 гг.) эти затраты находились на уровне $150\text{--}180 \text{ кВт} \cdot \text{ч}/\text{м}^2$ в год. С учетом постоянного роста тарифов на тепловую энергию и неопределенности на глобальных рынках углеводородного сырья (а также в связи с незначительным использованием нетрадиционных и возобновляемых источников энергии в нашей стране) такая ситуация является чрезвычайно опасной с точки зрения энергетической безопасности страны [7].

В соответствии с методологией, предложенной автором и представленной в СП 1325800.2017, создана карта с пятью зонами территории Российской Федерации (рис. 2) суммарного солнечного излучения на горизонтальную поверхность с действительной облачностью. Методика расчета тепловой энергии в системах пассивного солнечного нагрева здания рассмотрена в статье [8].

Цель работы: обосновать энергоэффективность применения пассивного солнечного нагрева зданий в отопительный период на территории юга России. Для проектирования энергоэффективных зданий, в которых используются системы пассивного солнечного нагрева, необходимы данные интенсивности суммарной солнечной радиации на вертикальный фасад при действительной облачности за отопительный период [9].

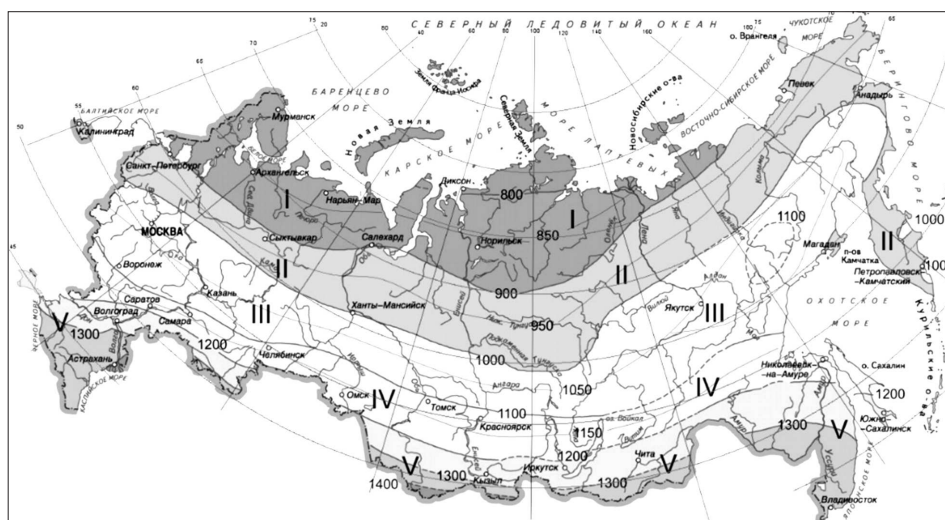


Рис. 2. Схематическая карта суммарной годовой солнечной радиации на горизонтальную поверхность в условиях действительной облачности, кВт · ч/м². СП 1325800.2017 «Устройства солнцезащитные зданий. Правила проектирования»

Для исследования потенциала пассивного солнечного нагрева здания в отопительный период на территории России обобщены параметры климата места строительства для шести городов, пять из которых расположены на юге России на широтах от 45 до 50° с.ш.: Владивосток, Чита, Волгоград, Краснодар, Симферополь и Москва (55° с.ш.). Существенное влияние на интенсивность солнечной радиации оказывает облачность. На рис. 3 приведены данные действительной облачности за отопительный период в шести городах. Во Владивостоке действительная облачность чуть больше 40 %, в Москве почти в 2 раза больше, около 80 %.

Интенсивность суммарной солнечной радиации на вертикальный южный фасад (рис. 4) в отопительный период рассчитана с использованием данных из СП 131.13330.2012 «Строительная климатология» с пересчетом значений на горизонтальной плоскости на значения на вертикальной плоскости южной ориентации с учетом продолжительности отопительного периода выбранных городов. В Москве среднечасовая солнечная радиация за отопи-

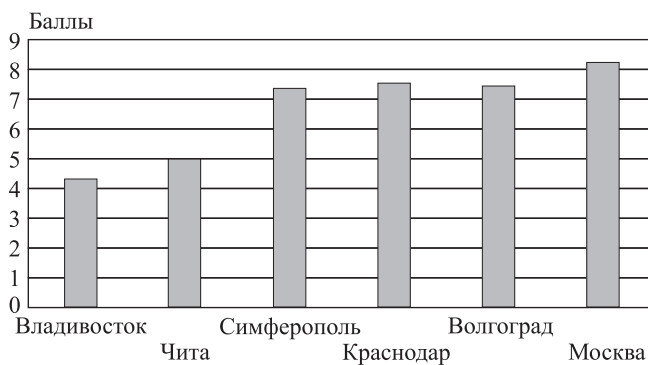


Рис. 3. Средняя облачность за отопительный период в 10-балльной системе

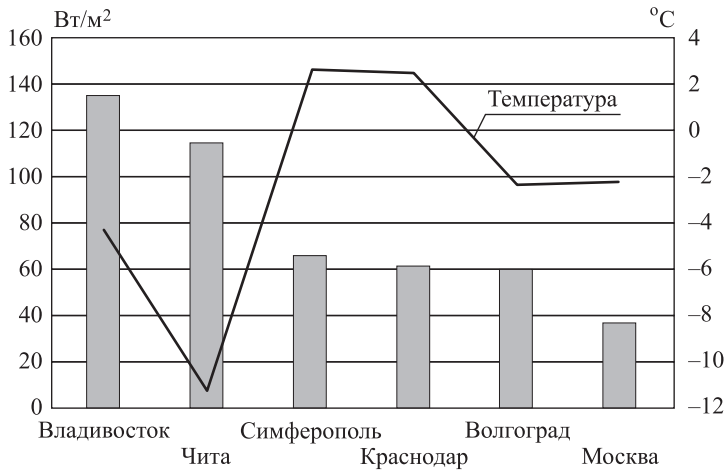


Рис. 4. Среднечасовая солнечная радиация на южный фасад и среднесуточная температура за отопительный период в шести городах

тельный период менее 40 Вт/м^2 , во Владивостоке – более чем в 3 раза больше, 135 Вт/м^2 .

Рассмотрим удельные тепловые потери и тепловые поступления через окна южной ориентации. В качестве расчетных примем окна с двойным остеклением с твердым селективным покрытием (К-стекло) $4M_1 + K4$ со спаренным переплетом.

Среднечасовые тепловые солнечные поступления в течение отопительного периода в Симферополе

$$Q_{ins} = I_S \tau_1 \tau_2 = 66 \cdot 0,75 \cdot 0,76 = 37,6 \text{ Вт/м}^2, \quad (1)$$

где I_S – среднечасовая солнечная радиация на южный фасад за отопительный период, которая может быть выбрана по карте изолиний солнечной радиации [10];

τ_1 – коэффициент затенения непрозрачными элементами;

τ_2 – коэффициент относительного пропускания солнечной радиации.

За отопительный период в Симферополе поступление солнечной радиации будет

$$Q_{ins}^{h,p} = 37,6 \cdot 154 \cdot 24 = 139 \text{ кВт/м}^2, \quad (2)$$

где 154 – продолжительность (сутки) отопительного периода в Симферополе и 24 часа в сутки.

Сравнение Москвы (55° с.ш.) и Читы (52° с.ш.): тепловая солнечная энергия, поступающая через окна южного фасада с выбранным типом окна за отопительный период в Чите $366 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2$, в 3,55 раза больше, чем в Москве ($103 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2$), при том, что среднесуточная температура за отопительный период в Чите $11,3^\circ \text{ С}$, в Москве $2,2^\circ \text{ С}$.

Среднечасовые тепловые потери в течение отопительного периода в Симферополе

$$Q_{loss} = K(t_{in} - t_{out}) = 1,8(20 - 2,6) = 31,6 \text{ Вт/м}^2, \quad (3)$$

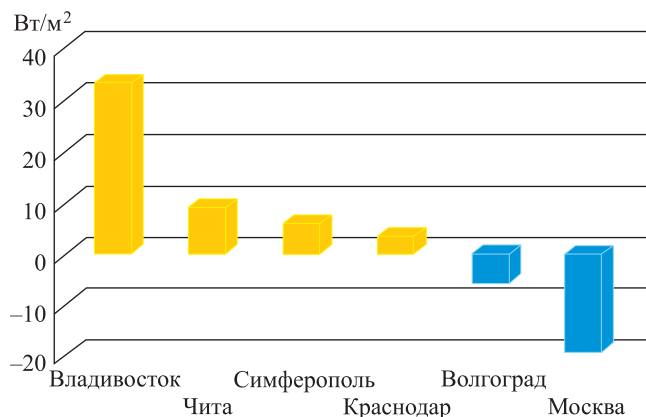


Рис. 5. Результирующая тепловая энергия за отопительный период, проходящая через окна южного фасада

где $K = 1/R = 1,8 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$ – коэффициент теплопередачи стеклопакета;
 $R = 0,55$ – коэффициент сопротивления теплопередаче стеклопакета;
 t_{in} – внутренняя температура помещения;
 t_{out} – среднесуточная наружная температура в отопительный период.

Разность между удельными тепловыми солнечными поступлениями и тепловыми потерями через окна есть результирующая тепловая энергия [8].

Результирующая тепловая энергия, проходящая через окна южной ориентации в Симферополе

$$\Delta Q_w = Q_{ins} - Q_{loss} = 37,6 - 31,6 = 6 \text{ Вт/м}^2. \quad (4)$$

С учетом потерь через светопрозрачную конструкцию результирующая удельная тепловая энергия в течение отопительного периода во Владивостоке $33,3 \text{ Вт/м}^2$, в Москве 19 Вт/м^2 . Во Владивостоке солнце обогревает помещения южной ориентации, в Москве тепловые потери больше, чем солнечные поступления через окна (рис. 5).

Заключение. Суровый климат преобладает на 2/3 территории России, однако в южных районах, где проживает более 50 % населения, существенные солнечные поступления в здания через окна южной ориентации в отопительный период позволяют проектировать здания на принципах низкоэнергетической архитектуры. Это выражается в том, что удельные тепловые солнечные поступления через окна южного фасада превышают тепловые потери. На этой территории России проекты зданий с пассивным солнечным нагревом будут иметь хороший экономический результат. Еще больший эффект может быть достигнут с воздушным солнечным коллектором, встроенным в конструкцию здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. The business case for passive house. Synergy sustainability institute. Victoria, Canada, 2015. 70 p.
2. Passive solar design strategies: guidelines for home building. Passive solar industries, council national renewable energy laboratory, Charles eley associates. Seattle, Washington, 1992. 85 p.

3. *Faist W.* Passive houses in Central Europe, Kassel, Darmstadt, 1993.
4. Passive solar design for New Zealand Homes // *Energy-Wise Renewables*, 2000. 4 p.
5. *Jungmann Choi.* Case studies of the design, construction and certification of energy-efficient houses in the Republic of Korea // *Architecture and Engineering*. 2017. P. 3–8. DOI: 10.23968/2500-0055-2017-2-4-3-8.
6. *Ильичев В.А., Колчунов В.И., Емельянов С.Г., Бакаева Н.В.* Инновационные технологии в строительстве городов. М.: Изд-во АСВ, 2019. 208 с.
7. *Шубин И.Л., Спиридонов А.В.* Проблемы энергосбережения в российской строительной отрасли // *Энергосбережение*. 2013. № 1. С. 15–21.
8. *Дворецкий А.Т., Клевец К.Н.* Избыток тепловой энергии в системах пассивного солнечного нагрева здания // *Строительство и реконструкция*. 2016. № 5. С. 79–86.
9. *Дворецкий А.Т.* Влияние солнечной радиации на продолжительность отопительного периода и периода охлаждения зданий в Крыму // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2014. № 3. С. 74–81.
10. *Дворецкий А.Т.* Пассивный солнечный нагрев и охлаждение зданий в климатических условиях юга России // *Научные труды РААСН*. М., 2017. С. 151–159.

Дворецкий Александр Тимофеевич, д-р техн. наук, проф.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, г. Симферополь

Получено 25.11.2020

Dvoretzkiy Alexandr Timofeevich, DSc, Professor

Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky, Simferopol, Russia

ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS WITH PASSIVE SOLAR HEATING IN THE SOUTH OF RUSSIA

The article analyzes the passive solar heating potential of buildings during the cold season in Russia. The calculation of the receipt of thermal solar energy through the translucent structures was made taking into account the actual cloud cover. The results of these calculations are compared with the heat losses through the windows of the south orientation, and the resulting specific heat energy during the heating period for six cities of the Russian Federation is determined. It is shown that taking into account passive solar heating in buildings with low-energy architecture in southern Russia will significantly reduce energy consumption for heating.

Key words: passive solar heating, resulting thermal energy, climatic parameters, translucent structures.

REFERENCES

1. The business case for passive house. Synergy sustainability institute. Victoria, Canada, 2015. 70 p.
2. Passive solar design strategies: guidelines for home building. Passive solar industries, council national renewable energy laboratory, Charles eley associates. Seattle, Washington, 1992. 85 p.
3. *Faist W.* Passive houses in Central Europe, Kassel, Darmstadt, 1993.
4. Passive solar design for New Zealand Homes. *Energy-Wise Renewables*, 2000. 4 p.
5. *Jungmann Choi.* Case studies of the design, construction and certification of energy-efficient houses in the Republic of Korea. *Architecture and Engineering*. 2017. Pp. 3–8. DOI: 10.23968/2500-0055-2017-2-4-3-8.

6. *Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Yemel'yanov S.G., Bakayeva N.V.* Innovatsionnyye tekhnologii v stroitel'stve gorodov [Innovative technologies in city building]. Moscow, 2019. 208 p. (in Russian)
 7. *Shubin I.L., Spiridonov A.V.* Problemy energosberezheniya v rossiyskoy stroitel'noy otrasli [Problems of energy saving in the Russian construction industry]. *Energosberezheniye* [Energy saving]. 2013. No. 1. Pp. 15–21. (in Russian)
 8. *Dvoretskiy A.T., Klevets K.N.* Izbytok teplovoy energii v sistemakh passivnogo solnechnogo nagreva zdaniya [Excessive thermal energy in passive solar heating systems of a building]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya* [Construction and reconstruction]. 2016. No. 5. Pp. 79–86. (in Russian)
 9. *Dvoretskiy A.T.* Vliyaniye solnechnoy radiatsii na prodolzhitel'nost' otopitel'nogo perioda i perioda okhlazhdeniya zdaniy v Krymu [Influence of solar radiation on the duration of the heating period and the period of cooling of buildings in Crimea]. *Biosfernaya sovместimost': chelovek, region, tekhnologii* [Biosphere compatibility: people, region, technologies]. 2014. No. 3. Pp. 74–81. (in Russian)
 10. *Dvoretskiy A.T.* Passivnyy solnechnyy nagrev i okhlazhdeniye zdaniy v klimaticheskikh usloviyakh yuga Rossii [Passive solar heating and cooling of buildings in the climatic conditions of the south of Russia]. *Nauchnyye trudy RAASN* [Scientific works of RAACS]. Moscow, 2017. Pp. 151–159. (in Russian)
-