

Анализ зависимости тепловой энергии, затраченной на отопление и охлаждение зданий, от различных факторов

Рецензия эксперта на статью получена 17.02.2022 [The expert review of the article received on February 17, 2022].

Основными видами потребляемой малоэтажными домами энергии являются электрическая энергия на освещение и питание бытовых электроприборов, тепловая энергия на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение, а также тепловая энергия в виде холода на охлаждение здания в тёплый период. В связи с этим возникает задача выбора типа и мощности источника энергии в случае автономного энергоснабжения здания. Критериями выбора источника в этом случае является вид потребляемой энергии, установленная мощность, режим потребления мощности, количество потребной энергии за период (отопительный, охлаждающий, за год и т.д.).

Решение поставленной задачи осложняется разнообразием проектов зданий, применяемых при строительстве материалов, различными климатическими условиями и другими факторами. Поэтому для упрощения расчётов и для большей наглядности полученных результатов рассчитаем потребное количество энергоресурсов для зданий различной площади, расположенных в трёх различных климатических регионах при условии, что термические сопротивления наружных ограждений зданий соответствуют нормативным значениям при проектировании тепловой защиты зданий [1].

Соотношения площадей наружных ограждений (стен, окон, полов и потолков) приняты из усреднённых значений для жилых зданий. При расчёте потребного количества тепловой энергии, как для отопления, так и для охлаждения, учитывалось количество теплоты, поступившее в здание за счёт солнечной радиации. Расчёт потребного количества энергоресурсов проводился в соответствии с требованиями нормативных документов [2].

Термическое сопротивление ограждающих конструкций зданий регламентиру-

Для упрощения расчётов и большей наглядности полученных результатов рассчитаем потребное количество энергоресурсов для зданий различной площади в трёх различных климатических регионах

ются [СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» \[1\]](#), при этом значения термического сопротивления зависят не только от назначения здания, но и от климата.

В качестве объекта исследования в данной работе принято многоквартирное жилое здание (коттедж).

Затраты тепловой энергии на отопление

Для примера были заданы различные значения площади здания, например, 150, 300 и 500 м². При высоте этажа 3 м отапливаемые объёмы составят, соответственно, 450, 900 и 1500 м³. В связи с многообразием конкретных проектов и планировок зданий некоторые параметры (коэффициент остеклённости, показатель компактности) приняты усреднённо, исходя из следующих соображений.

Коэффициент остеклённости принят в пределах, регламентированных п. 5.11 [СНиП 23-02-2003 \[1\]](#) (для жилых зданий не более 18 % — $f = 0,18$). Значения площадей окон и балконных дверей составят 49,6 м² для здания площадью 150 м², 99,1 и 165,2 м² для зданий площадью 300 и 500 м².

Для рассматриваемых зданий принято одинаковое количество этажей — два этажа. Тогда, в соответствии с [СНиП 23-02-2003 \[1\]](#) принимаем коэффициент компоновки здания $K_{\text{комп}} = 0,9$.

Мощность внутренних источников теплоты для жилых зданий составляет в среднем 10 Вт/м².

УДК 658.264. Научная специальность: 05.14.04.

Анализ зависимости тепловой энергии, затраченной на отопление и охлаждение зданий, от различных факторов

Е. Г. Гашо, д.т.н., профессор, кафедра «Промышленные теплоэнергетические системы» (ПТС), [Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» \(НИУ «МЭИ»\); А. М. Фокин, старший преподаватель, кафедра «Промышленной теплоэнергетики» \(ПТЭ\), \[филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске\]\(#\)](#)

В статье проведён анализ мощности системы отопления и количества энергии для тепло- и холодоснабжения малоэтажного многоквартирного здания. Определены расчётная мощность системы отопления, количество теплоты на отопление и холода для зданий различной площади, расположенных в трёх климатических регионах. Полученные результаты могут быть использованы при выборе источника энергии, при планировании количества энергоресурсов для энергоснабжения, при составлении энергетических балансов.

Ключевые слова: теплоснабжение, климат, кондиционирование, солнечная радиация, охлаждение.

UDC 658.264. The number of scientific specialty: 05.14.04.

Analysis of the dependence of thermal energy spent on heating and cooling of buildings on various factors

Ev. G. Gasho, Doctor of Sciences in Technology, Professor, the "Industrial Heat Power Engineering Systems" Department, [National Research University "Moscow Power Engineering Institute"](#); Al. M. Phokin, senior lecturer, the "Industrial Heat Power Engineering", [Smolensk branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute"](#)

The article analyzed the power of the heating system and the amount of energy for heat and cold supply of a low-rise single-family building. The design capacity of the heating system, the amount of heat for heating and cold for buildings of various sizes located in three climatic regions were determined. The results obtained can be used when choosing an energy source, when planning the amount of energy resources for energy supply and when compiling energy balances.

Key words: heat supply, climate, conditioning, solar radiation, cooling.

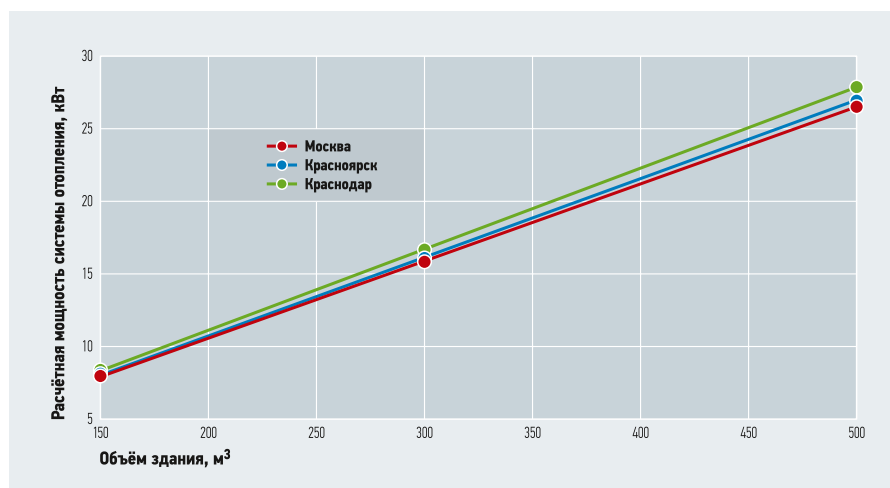


Рис. 1. Зависимость расчётной мощности системы отопления от площади отапливаемого здания

Помимо различной площади для большей наглядности в различиях энергетических характеристик зданий введём разделение по климату: рассмотрим три региона РФ с континентальным климатом, с умеренным континентальным и с субтропическим климатом, то есть города Красноярск, Москву и Краснодар.

Выбранные регионы существенно различаются по параметрам климата: так, расчётная температура наружного воздуха для отопления для Красноярска составляет -37°C , для Москвы -26°C , для Краснодара -15°C [3].

Продолжительность отопительного периода для Красноярска наибольшая — 234 суток при средней температуре отопительного периода $-6,6^{\circ}\text{C}$, для Краснодара минимальная — 146 суток при средней температуре $+2,2^{\circ}\text{C}$.

Температура воздуха внутри помещений для расчёта градусо-суток отопительного периода (ГСОП) принята равной $+20^{\circ}\text{C}$.

Значения термических сопротивлений ограждений для каждого города согласно СНиП 23-02-2003 [1] определены из условия отсутствия конденсации влаги на внутренней поверхности ограждения и представлены в табл. 1.

Из полученных значений видно, что нормируемое термическое сопротивление наружных ограждений определяется только суровостью зимы (параметром ГСОП) и различно для каждого города.

Средний коэффициент теплопередачи ограждений зданий определим по формуле (Ж.1) из СП 50.13330.2012 [1]):

$$k_{\text{общ}} = \frac{1}{V} \sum_i \left(n_{t,i} \frac{A_i}{R_{o,i}^{\text{нп}}} \right).$$

Максимальное из найденных значений коэффициентов теплопередачи ограждений получено для Краснодара — $0,691 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$, минимальное для Красноярска — $0,414 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$, для Москвы получили $0,505 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{K})$. Таким образом, для Красноярска теплозащита ограждений должна быть более чем на 50 % эффективнее, чем для Краснодара.

Термические сопротивления ограждающих конструкций зданий

табл. 1

Город	Градусо-сутки отопительного периода, °C·сут.	Нормируемые значения сопротивления теплопередаче, м·°C/Вт			
		стен	покрытий и перекрытий над проездами	перекрытий чердачных, над неотапливаемыми подпольями и подвалами	окон и балконных дверей, витрин и витражей
Красноярск	6224	3,58	5,31	4,70	0,61
Москва	4529	2,99	4,46	3,94	0,49
Краснодар	2526	2,28	3,46	3,04	0,34

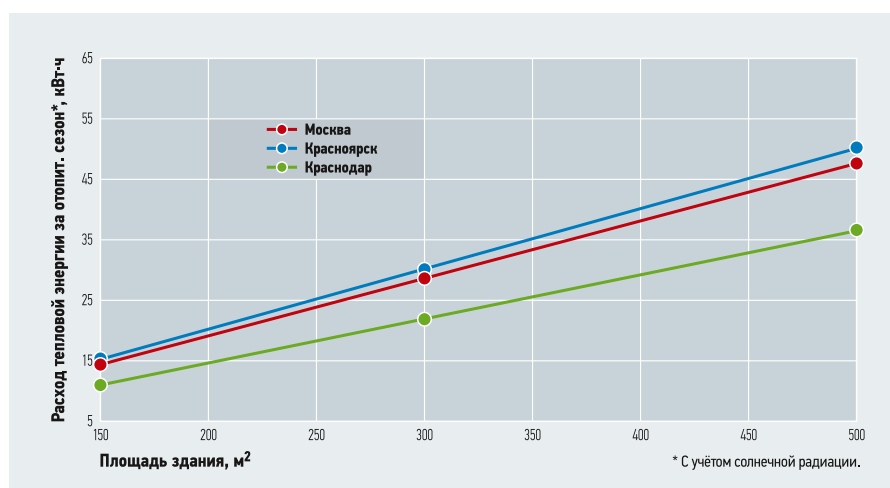


Рис. 2. Расход тепловой энергии за отопительный период с учётом теплопоступлений от солнечной радиации

Расчётная тепловая мощность на отопление и вентиляцию зданий составила в среднем от 8 кВт (для здания 150 м^2) до 27,8 кВт (для здания 500 м^2), как это показано на рис. 1 [2].

Полученные результаты свидетельствуют о том, что мощность системы отопления зданий, расположенных в различных климатических регионах, определённая при условии соответствия термического сопротивления наружных ограждений требованиям нормативных документов [1–5], не зависит от расчётной температуры наружного воздуха и примерно одинакова для зданий одной площади.

При расчёте потребного количества тепловой энергии, как для отопления, так и для охлаждения, учитывалось количество теплоты, поступившего в здание за счёт солнечной радиации [6, 7].

Несмотря на одинаковую расчётную мощность системы отопления, количество теплоты на отопление данных зданий за отопительный период зависит от климата — здание, расположенное в регионе с большей продолжительностью отопительного периода и, соответственно, с более низкой за период средней температурой наружного воздуха за отопительный период, потребует большего количества теплоты на отопление. Из рассмотренных в работе городов это будет Красноярск — от 2,1 МВт·ч для здания 150 м^2 до 70,6 МВт·ч для здания 500 м^2 . Затем

следует Москва (18,8 и 62,5 МВт·ч), минимальное количество теплоты потребуются для отопления здания в Краснодаре (14,5 и 48,3 МВт·ч).

Количество теплоты, потребное на отопление данных зданий за отопительный период и рассчитанное с учётом теплоты от солнечной радиации, также будет больше для зданий с большей продолжительностью отопительного периода и с более холодной зимой, но разница между количеством теплоты для разных регионов будет меньше (рис. 2).

При этом удельные характеристики расхода тепловой энергии на отопление и вентиляцию для всех зданий будут примерно одинаковы — $17,6\text{--}18,6 \text{ Вт}/\text{м}^2$.

Удельные расходы теплоты на отопление с учётом солнечной радиации (и без неё) также будут различаться меньше. Это является следствием поступления дополнительного количества теплоты в отапливаемое здание за счёт солнечной радиации. Особенно заметно влияние теплоты от солнца в начале и конце отопительного периода — октябрь и апрель, например, для Красноярска поступления теплоты за счёт солнечной радиации в конце отопительного периода может достигать более 80 % от потерь теплоты через наружные ограждения (рис. 3) [8].



Затраты холода на охлаждение помещений

В охлаждающий период параметры микроклимата при кондиционировании помещений в охлаждающий период следует предусматривать для обеспечения параметров внутреннего воздуха в пределах верхних значений оптимальных норм по ГОСТ 30494 [4] (формулировка по СП 60.13330.2020), в качестве расчётной температуры внутреннего воздуха была принята температура +20 °С. При определении количества холода на охлаждение учтены следующие обстоятельства:

1. Удельные внутренние теплопоступления в зданиях снижаются за счёт меньших теплопоступлений от освещения из-за увеличения светового дня по сравнению отопительным периодом до величины.
2. Теплопоступления с солнечной радиацией в тёплый (охлаждающий) период возрастают из-за увеличения длительности светового дня и интенсивности солнечного излучения, при этом основное количество теплоты поступает в помещения через световые проёмы, воздействием солнечной радиации на непрозрачные ограждения (стены, крышу, потолки и т.д.) пренебрегаем ввиду их малой величины.

Таким образом, для жилого здания теплопоступления в охлаждающий период разделяются на три вида: внешние $Q_{\text{рад}}$ (с солнечной радиацией), внутренние $Q_{\text{вн}}$, а также теплопоступления за счёт

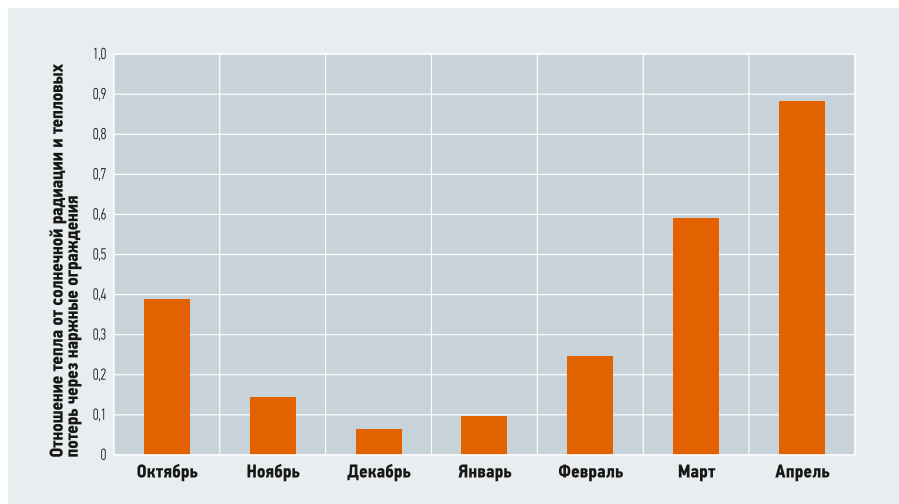


Рис. 3. Отношение количества теплоты, поступающего от солнечной радиации, и тепловых потерь через ограждающие конструкции

Количество холода на охлаждение зданий в охлаждающий период

табл. 2

Город	Количество холода, требуемое для охлаждения помещения $Q_{\text{охл}}$ [кВт·ч] при площади, м^2			Продолжительность охлаждающего периода $n_{\text{охл}}$, ч
	150	300	500	
Красноярск	1058	2115	3525	490
Москва	1547	3094	5157	761
Краснодар	3716	7432	12386	2083

тёплого наружного воздуха с температурой выше расчётной температуры воздуха в помещениях $Q_{\text{вент}}$.

Температуру наружного воздуха начала/окончания охлаждающего периода, учитывая, что величина внутренних тепловыделений для жилого здания мала, приняли равной расчётной температуре внутреннего воздуха, то есть также +20 °С.

Длительность охлаждающего периода была определена следующим образом: из таблицы продолжительности стояния температур наружного воздуха [5] выбрана продолжительность периода, когда температура наружного воздуха была выше расчётной температуры внутреннего воздуха в охлаждающий период. Для Москвы длительность охлаждающего периода будет равна 761 ч.



Далее по графику среднемесячных температур наружного воздуха (рис. 3) был определён период, вблизи которого наружная температура наружного воздуха будет наивысшей [9]. В этом случае для выбранных городов это будет июль. Соответственно, интенсивность солнечной радиации рассчитаем для июля. В случае, если продолжительность охлаждающего периода будет значительно больше одного месяца, необходимо учесть изменение радиации в другие месяцы [10].

Средняя температура наружного воздуха определена усреднением температур из таблицы [5] пропорционально продолжительности стояния:

$$t_{\text{н}}^{\text{CP}} = \frac{\sum (t_{\text{н}i} \tau_{i\tau_{\text{н}} \geq 20^\circ \text{C}})}{\tau_{\text{н}} \geq 20^\circ \text{C}} = \frac{17713}{761} = 23,28^\circ \text{C}.$$

Энтальпия и плотность воздуха при этой температуре составят 1,193 кг/м³ и 1,005 кДж/(кг·°С), соответственно.

Далее приведён расчёт количества теплоты для охлаждения для здания площадью 150 м², расположенного в Москве:

$$\begin{aligned} Q_{\text{ох}} &= Q_{\text{вн}} + Q_{\text{вент}} + Q_{\text{рад}} = 0,001 q_{\text{вн}} A \tau_{\geq 20^\circ \text{C}} + \\ &+ 0,001 L_{\text{вент}} \left(c_{\text{в}}^{23} \rho_{\text{в}}^{23} - c_{\text{в}}^{20} \rho_{\text{в}}^{20} \right) A \tau_{\geq 20^\circ \text{C}} + \\ &+ Q_{\text{рад}} \frac{\tau_{\geq 20^\circ \text{C}}}{\tau_{\text{июль}}} = 0,001 \times 1,63 \times 150 \times 761 + \\ &+ 0,001 \times 0,7 \times \left(\frac{1,005 \times 1,193 \times 23}{1,005 \times 1,205 \times 20} \right) \times \\ &\times 150 \times 761 + 1389 \frac{761}{744} = 186 + 74,5 + 1420 = \\ &= 1680,5 \text{ кВт·ч} = 6050 \text{ МДж}. \end{aligned}$$

Результаты расчётов количества потребного холода приведены в табл. 2.

Таким образом, из результатов расчёта потребляемой энергии на охлаждение зданий следует, что количество холода однозначно определяется интенсивностью солнечной радиации и параметрами наружного воздуха летом, а вкладом теплопоступлений через теплоёмкие наружные ограждения (стены, перекрытия) можно пренебречь.

Далее можно сформулировать выводы:

1. Расчётная мощность системы отопления зданий, расположенных в различных климатических регионах, определённая при условии соответствия термического сопротивления наружных ограждений требованиям нормативных документов, не зависит от параметров климата (расчётной температуры наружного воздуха и градусо-суток отопительного периода) и примерно одинакова.
2. Количество тепловой энергии, потребной на отопление за отопительный период, существенно зависит от суровости климата — при более низкой температуре наружного воздуха и более продолжительном отопительном периоде требуется заметно большее количество тепловой энергии.
3. Удельные расходы теплоты на отопление с учётом солнечной радиации (и без неё), так же, как и расчётная мощность системы отопления, будут различаться меньше для разных городов. Связано это с тем, что для регионов с более мягкой зимой требуемое термическое сопротивление наружных ограждений меньше, чем для городов с более холодным и продолжительным отопительным периодом.
4. Относительная величина теплопоступлений за счёт солнечной радиации для районов с большей продолжительностью отопительного периода будет больше, чем для тёплых районов. Это является следствием поступления дополнительного количества теплоты в отапливаемое здание за счёт солнечной радиации. Особенно заметно влияние теплоты от солнца в начале и конце отопительного периода — октябрь и апрель, например, для Красноярска поступления теплоты за счёт солнечной радиации в конце отопительного периода могут достигать более 80 % от потерь теплоты через наружные ограждения.
5. При этом мощность системы кондиционирования здания в основном зависит от интенсивности солнечной радиации и максимальной температуры воздуха летом. Количество холода для охлаждения зданий находится в обратной зависимости от температуры наружного воздуха. В более тёплом климате для зданий требуется большее количество холода за охлаждающий период независимо от теплозащитных свойств наружных ограждений. ●

-
1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализ. ред. СНиП 23-02-2003. / Дата введ.: 01.07.2013.
 2. СП 60.13330.2020. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Актуализ. ред. СНиП 41-01-2003 / Дата введ.: 01.07.2021. — М.: Минстрой России, 2020.
 3. СП 131.13330.2020. Строительная климатология / Дата введ.: 25.06.2021. — М.: Минстрой России, 2020.
 4. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях / Дата введ.: 01.01.2013. — М.: Стандартинформ, 2019.
 5. Строительная климатология: Справ. пособие к СНиП 23-01-99* / Под ред. В.К. Савина. — М.: НИИ строительной физики РААСН, 2006. 258 с.
 6. Шибeko A.C., Косько П.Ю., Гутор Т.И. Совершенствование метода расчёта теплопоступлений от солнечной радиации через светопрозрачные конструкции // Приволжский научный журнал, 2020. №1. С. 93–100.
 7. Скaнaви A.Н., Мoxoв Л.М. Отопление. — М.: Изд-во ACB, 2006. 576 с.
 8. Дaшeeв C.C., Мaлышев E.A. Солнечная энергетика: состояние и перспективы // Вестник науки и образования, 2018. №17-1. С. 51–53.
 9. Пoгoдa и климaт [Электр. текст]. Режим доступа: pogodaiklimat.ru. Дaтa oбpaщ.: 01.12.2021.
 10. Шилeв М.И., Хpoмoвa E.М., Дopoшeнкo Ю.М. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Примеры расчёта систем: учебное пособие для вузов / Под. ред. М.И. Шилева. — М.: Изд-во «Юрайт», 2022. 250 с.
- References — see page 80.

Analysis of the dependence of thermal energy spent on heating and cooling of buildings on various factors. Pp. 64–67.

Evgeniy G. Gasho, Doctor of Sciences in Technology, Professor, the "Industrial Heat Power Engineering Systems" Department, [National Research University "Moscow Power Engineering Institute"](#); **Alexei M. Phokin**, senior lecturer, the "Industrial Heat Power Engineering", [Smolensk branch of National Research University "Moscow Power Engineering Institute"](#)

1. SP 131.13330.2020 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 131.13330.2020]. *Stroitel'naja klimatologija* [Building climatology]. Data of impl.: June 25, 2021. Moscow. *Minstroy Rossii* [Ministry of Construction of Russia]. 2020. [In Russian]
2. GOST 30494–2011 [State Industry Standard of Russia No. 30494–2011]. *Zdanija zhilye i obshchestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshhenijah* [Residential and public buildings. The parameters of the microclimate in the premises]. Data of impl.: January 1, 2013. Moscow. *Standartinform* [Russian Scientific-Technical Information Centre for Standardization, Metrology and Conformity Assessment ("Standartinform" Publishers)]. 2019. [In Russian]
3. SP 60.13330.2020 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 60.13330.2020]. *Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie. Aktualiz. red. SNiP 41-01–2003* [Heating, ventilation and air conditioning. Updated edition of Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 41-01–2003]. Data of impl.: July 1, 2021. Moscow. *Minstroy Rossii* [Ministry of Construction of Russia]. 2020. [In Russian]
4. SNiP 23-02–2003 [Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-02–2003]. *Teplovaja zashhita zdaniy* [Thermal protection of buildings]. Data of impl.: October 1, 2003. Moscow. *Gostroj Rossii* [State Committee of Russia for Construction and Municipal Complex]; *FGUP TsPP* [Federal State Unitary Enterprise "Centre of Construction Design Products"]. 2004.
5. *Stroitel'naja klimatologija: Sprav. posobie k SNiP 23-01–99** [Building climatology: Reference manual to Building Norms & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 23-01–99*]. Edited by V.K. Savin. Moscow. *NII stroitel'noj fiziki RAASN* [State Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences]. 2006. 258 p. [In Russian]
6. A.S. Shibeko, P.Ju. Kos'ko, T.I. Gutor. *Sovershenstvovanie metoda rascheta teplopostuplenij ot solnečnoj radiacii cherez svetoprozrachnye konstrukcii* [Improvement of the method for calculating heat input from solar radiation through translucent structures]. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal* [Privolzhsky Scientific Journal]. 2020. No. 1. Pp. 93–100. [In Russian]
7. A.N. Skanavi, L.M. Mohov. *Otoplenie* [Heating systems]. Moscow. *Izd-vo ASV* [Publishing House of the Association of Construction Universities ("ASV" Publishers)]. 2006. 576 p. [In Russian]
8. S.S. Dasheev, E.A. Malyshev. *Solnechnaja jenergetika: sostojanie i perspektivy* [Solar energy: status and prospects]. *Vestnik nauki i obrazovanija* [Bulletin of Science and Education]. 2018. No. 17-1. Pp. 51–53. [In Russian]
9. *Pogoda i klimat* [Weather and climate]. Web-source: pogodaiklimat.ru. Access data: December 1, 2021. [In Russian]
10. M.I. Shiljaev, E.M. Hromova, Ju.M. Doroshenko. *Otoplenie, ventiljacija i kondicionirovanie vozduha. Primery rascheta sistem: uchebnoe posobie dlja vuzov* [Heating, ventilation and air conditioning. Examples of systems calculation: A textbook for universities]. Edited by M.I. Shiljaev. Moscow. *Izd-vo "Jurajt"* ["Youright" Publishing House]. 2022. 250 p. [In Russian]