



УДК 697.132.3:697.12

А. А. ФРОЛОВА, канд. тех. наук, доц., доц. кафедры теплогазоснабжения и вентиляции; **А. С. КОНДРАТЮК**, студент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ НА ГОДОВОЕ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЕ ЗДАНИЯ

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет». Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

Тел.: +7 (495) 781-80-07; факс: +7 (499) 183-44-38; эл. почта: FrolovaAA@mgsu.ru

Ключевые слова: солнечная радиация, бытовые теплопоступления, система отопления, теплопотребление здания, общественное здание.

В статье проводится оценка влияния солнечной радиации на годовую нагрузку теплопотребления общественным зданием в зависимости от различных вариантов ориентации фасадов здания и с учетом переменных внутренних бытовых теплопоступлений в г. Москва, позволяющая делать прогноз по снижению нагрузки на систему отопления в отопительный период года.

Практически любому возводимому зданию или сооружению, за исключением некоторых индивидуальных «нетиповых» проектов, диктуются и архитектурные нормы по инсоляции и естественному освещению помещений. Архитекторы, разрабатывая концепцию возводимого здания, определяются с архитектурным решением по выбору светопрозрачных конструкций, которые выполняют как декоративную и защитную функции, так и функцию обеспечения нормированной освещенности помещения в светлое время суток. Однако, вместе с этим поднимается вопрос о теплопоступлениях от солнечной радиации в здание, и, в зависимости от принятых решений, величина этих теплопоступлений может быть существенной, в том числе и в зимний период влиять на теплопотребление здания [1, 2] и выбор мощности системы отопления [3-5].

На сегодняшний день возводится достаточно большое количество объектов, в которых приняты технологические решения с высокими уровнями тепловыделений – это различные учебные, административные, офисные и торговые здания. В таких объектах строительства необходимо большое количество энергии для охлаждения воздуха и поддержания требуемых (расчетных) параметров микроклимата [6, 7]. Так же в различных странах уделяется внимание изучению солнечного излучения для различных инженерных решений [8].

В данной статье рассматривается модель трехэтажного офисного здания с определенными заданными параметрами. Адрес расположения офисного здания – город Москва. Москва расположена в умеренных широтах, обладает влажным умеренным континентальным климатом, с четкой выраженной сезонностью. В году около девяноста дней являются ясными. Расчетная температура наружного воздуха для определения максимальной нагрузки на систему отопления составляет $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$, а продолжительность отопительного сезона составляет почти две трети года – 204 дня.



В каждом помещении устроены однотипные окна одинакового типоразмера, который составляет $5,8 \times 2,5$ (h) метра. В здании только два фасада имеют остекленность.

В качестве рассматриваемых окон, через которые будут рассчитаны величины теплопоступлений от солнечной радиации в офисное здание, приняты стеклопакеты от японского производителя «AGC», формула «4M1-16Ar-4И»: 4 мм *Planibel clear* – 16 мм, Ar – 4 мм, *Planibel TopN+T* с коэффициентом теплопередачи окна $k_0 = 1,1$ Вт/(м²·°С), коэффициентом общего пропускания солнечной энергии $g = 0,64$, коэффициентом светопропускания $\tau_1 = 0,8$.

Расчет теплопоступлений от солнечной радиации производится при естественной облачности за сутки каждого месяца отопляемого периода в нескольких рассматриваемых случаях, при которых окна будут ориентированы на каждую из восьми рассматриваемых ориентаций фасада по сторонам света: юг (Ю), запад (З), восток (В), юго-запад (ЮЗ), юго-восток (ЮВ), северо-запад (СЗ), северо-восток (СВ). Учитывая тот фактор, что архитектура здания предполагает расположение окон на двух противоположных сторонах фасада, то будут сравнены данные по теплопоступлениям на каждую из четырех пар условной ориентации здания: север-юг, запад-восток, юго-восток-северо-запад, юго-запад-северо-восток.

Продолжительность отопительного сезона в г. Москва составляет $m = 7$ месяцев: с начала октября по конец апреля. Расчет теплопоступлений от солнечной радиации осуществляется согласно [9, 10].

Суммарные поступления тепловой энергии от солнечной радиации в течение суток за месяц рассматриваемого отопительного периода через все окна в здании представлены в табл. 1.

На рис. 1 авторами представлены итоговые диаграммы всех теплопоступлений от солнечной радиации в здание за сутки по рассматриваемым ориентациям фасадов.

На следующем этапе было определено количество теплоты, поступающей от людей, оргтехники и искусственного освещения в здании.

В соответствии с функциональным назначением помещения установлена категория работ Ia для сотрудников, осуществляющих легкую физическую работу с энергозатратами до 139 Вт.



Таблица 1

Общее количество солнечной энергии, проникающей в здание через все оконные проемы за сутки, кВт·ч

Месяцы отопительного периода	Теплопоступления через окна на фасадах заданной ориентации за сутки, кВт·ч							
	С	Ю	З	В	ЮВ	СЗ	ЮЗ	СВ
Октябрь	61,50	158,9	112,6	114,2	152,5	61,50	153,3	61,50
Ноябрь	34,81	93,49	62,25	63,34	86,43	34,81	85,61	34,81
Декабрь	26,58	49,26	31,20	26,58	52,16	26,58	41,56	26,58
Январь	44,37	109,9	77,04	78,81	94,92	44,37	104,9	44,37
Февраль	93,24	227,4	156,1	155,2	209,5	93,24	222,7	93,24
Март	143,48	330,2	254,7	254,7	325,3	169,3	326,3	143,5
Апрель	190,58	351,5	295,1	296,7	363,1	217,1	358,1	187,3
Сумма по ориентациям	1915,22		1978,47		1930,71		1883,62	

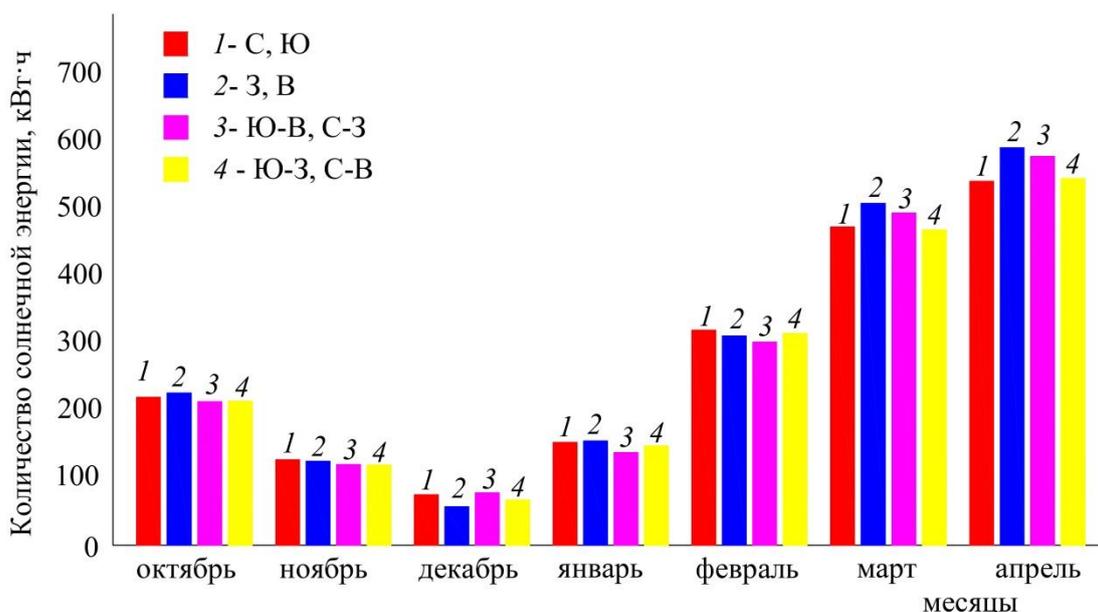


Рис. 1. Диаграмма теплопоступлений от солнечной радиации в здание за сутки по рассматриваемым ориентациям фасадов, кВт·ч: 1 – север, юг; 2 – запад, восток; 3 – юго-восток, северо-запад; 4 – юго-запад, северо-восток

Расчетное значение температуры внутреннего воздуха в холодный период года принято $t_b = 20$ °С.

На основании данных о количестве принятой оргтехники, а также с учетом неодновременности работы этой техники, рассчитаем количество поступающей теплоты. Суммарные теплопоступления в здании от оргтехники составят 42,84 Вт.



Количество теплоты, отдаваемое в помещение от искусственного освещения, определим по [11].

За счет увеличенных часов солнечного дня в начале и конце отопительного периода (октябрь, март, апрель), значения теплоступлений от искусственных источников освещения будут ниже и с учетом поправочного коэффициента составят 72,57 кВт·ч.

На основании климатических данных согласно принятым значениям сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций, определена максимальная мощность системы отопления, а также рассчитаны посуточные теплотери здания за месяцы отопительного периода при разных вариантах ориентации здания. Для расчета потребуются усредненные суточные климатические данные за некоторый период в годах. Были получены климатические данные непосредственно с метеорологической станции, расположенной в г. Дмитров Московской области.

Согласно данным, полученным в ходе теплотехнического расчета рассматриваемой оболочки здания на самые неблагоприятные климатические условия, при рассмотрении четырех основных ориентаций здания по сторонам света, из которых наиболее оптимальными с теплотехнической точки зрения оказалась ориентация главных фасадов на север – юг, а также на юго-запад – северо-восток. Нагрузка системы отопления в этих случаях составляет 64,19 кВт. Наибольшие тепловые потери здания возникают при ориентации главных фасадов на запад – восток, а также на юго-восток – северо-запад: в этом случае расчетная нагрузка на систему отопления составляет 64,89 кВт.

На рис. 2-5 представлены полученные авторами диаграммы теплового баланса здания за отопительный сезон, кВт·ч.

При расчетах солнечной радиации в действительных условиях была рассчитана величина энергии, которая поступает в здание за каждые сутки месяцев отопительного сезона. Хотя ориентация здания на восток – запад и приводит к более большим значениям теплотери, но именно в этом рассматриваемом случае в здание поступает наибольшее количество солнечной энергии, поэтому считаем, что данная ориентация является наиболее оптимальной и для дальнейшего анализа принимаем ее.

По данным сводной табл. 2 по теплоступлениям определено, что наименьшее значение удельных теплоступлений здание имеет в октябре месяце – 37,91 Вт/м², затем возрастает и достигает максимального значения в феврале месяце – 54,47 Вт/м².



Рис. 2. Диаграмма теплового баланса здания за отопительный сезон: суммарные поступления энергии в здание за период октябрь – середина января, кВт·ч



Рис. 3. Диаграмма теплового баланса здания за отопительный сезон: суммарные поступления энергии в здание за период середина января – апрель, кВт·ч

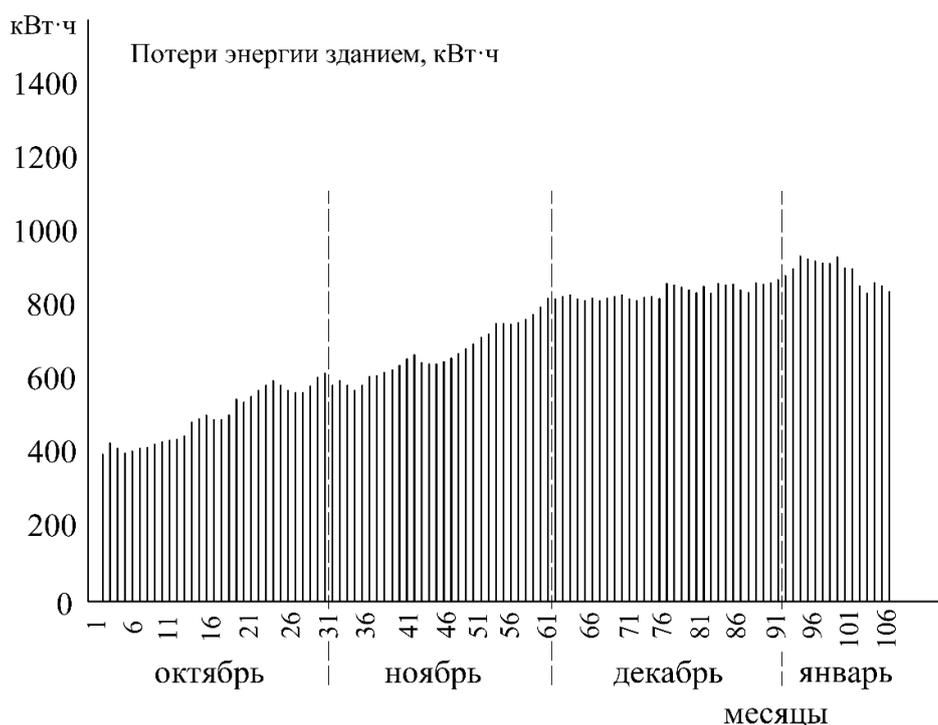


Рис. 4. Диаграмма теплового баланса здания за отопительный сезон: потери энергии зданием за период октябрь – середина января, кВт·ч

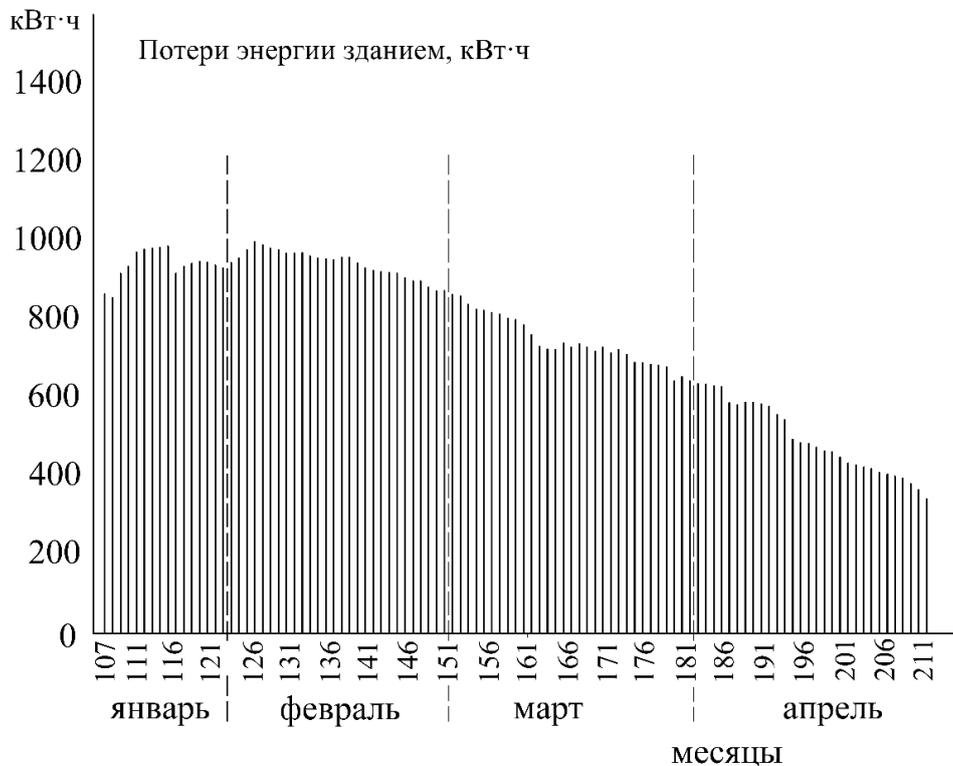


Рис. 5. Диаграмма теплового баланса здания за отопительный сезон: потери энергии зданием за период середина января – апрель, кВт·ч



Таблица 2

Сводная таблица теплопоступлений в здание за месяцы при выбранной ориентации запад - восток

Показатели	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Среднее количество солнечной энергии в час $Q_{с.р.}$, кВт	22,67	13,96	8,23	22,27	34,59	42,46	42,35
Среднее количество теплоты от людей $Q_{ч.}$, кВт	8,064	37,08	37,08	37,08	37,08	8,064	8,064
Среднее количество теплоты от оборудования в час $Q_{тех.}$, кВт	42,84	42,84	42,84	42,84	42,84	42,84	42,84
Среднее количество теплоты от искусственного освещения в час $Q_{осв.}$, кВт	20,16	20,16	20,16	20,16	20,16	20,16	20,16
Суммарное количество энергии от всех источников в час $Q_{сумм.}$, кВт	93,734	114,04	108,31	122,35	134,67	113,524	113,414
Расчетная площадь здания, м ²	2472,48						
Удельные теплопоступления q , Вт/м ²	37,91	46,12	43,81	49,48	54,47	45,92	45,87

Авторами определены наиболее оптимальные ориентации здания по сторонам света, при которых теплопотери были наименьше всего: это север – юг и юго-запад – северо-восток. Были рассчитаны величины внутренних бытовых теплопоступлений, а также от солнечной радиации, поступающей через все окна здания.

При ориентации здания на запад – восток количество поступающей солнечной энергии в здание на 45% компенсирует тепловые потери энергии здания за отопительный сезон, что оказалось больше всего из всех рассматриваемых вариантов, поэтому эта ориентация принята наиболее выгодной. Также при анализе выяснилось, что при выбранном типе и размерах окон в здание поступает достаточно большое количество солнечной энергии, которая в зимний период может перекрывать половину мощности системы отопления. Авторами была определена величина энергии, которую можно экономить на отоплении за счет солнечной радиации: минимальная величина приходится на декабрь месяц и составляет до 7% кВт от теплопотерь здания за месяц.



В качестве выводов по проведенным исследованиям, авторы отмечают, что при рассмотрении внутренних теплопоступлений были определены следующие источники: люди, искусственное освещение, офисное оборудование. Они активны только на протяжении рабочего дня, но в совокупности их величина достаточна не только для того, чтобы перекрывать теплопотери здания, но и приводят к тепловым избыткам, для снятия которых требуется работа системы кондиционирования воздуха. Это актуально и в нерабочие дни, когда отсутствуют бытовые внутренние теплопоступления, в том числе и в самые холодные месяцы отопительного периода. Наибольшие значения удельных теплопоступлений в офисное здание за отопительный период пришлось на февраль месяц.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малявина, Е. Г. Влияние теплопоступлений в помещение от солнечной радиации на уровень энергетически целесообразной теплозащиты здания / Е. Г. Малявина, А. А. Фролова. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 8 – С. 56–66.

2. О полезном использовании теплопоступлений системами отопления современных многоквартирных жилых домов / М. В. Бодров, В. Ю. Кузин, А. Ф. Юланова, Е. М. Прыткова. – Текст : непосредственный // Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет. – Нижний Новгород, 2021. – № 4. – С. 89–96.

3. О влиянии методов снижения теплопотребления систем обеспечения параметров микроклимата на характеристики систем отопления жилых домов / М. В. Бодров, В. Ю. Кузин, А. Ф. Юланова, Е. М. Прыткова. – Текст : непосредственный // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. – 2021. – № 11. – С. 50–53.

4. Гвоздков, А. Н. Новые решения по экономии тепловой энергии в административных зданиях / А. Н. Гвоздков, П. П. Кондауров, О. Ю. Сулова. – Текст : непосредственный // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : материалы XII Международной научной конференции / Министерство образования и науки Российской Федерации, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН); составитель А. Н. Гвоздков. – Волгоград, 2014. – С. 156–162.

5. Гвоздков, А. Н. Оценка эффективности использования энергоресурсов по результатам энергетических обследований / А. Н. Гвоздков, П. П. Кондауров, О. Ю. Сулова. – Текст : непосредственный // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды : материалы XII Международной научной конференции / Министерство образования и науки Российской Федерации, Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН) ; составитель А. Н. Гвоздков. – Волгоград, 2014. – С. 334–339.

6. Применение пассивного солнечного нагрева и охлаждения зданий в энергоэффективном строительстве / А. Т. Дворецкий, К. Н. Клевец, М. А. Моргунова, Т. В. Денисова. – Текст : непосредственный // Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий : сборник докладов III Всероссийской научной конференции с международным участием. – Новосибирск, 2017. – С. 57–61.

7. Соловьев, А. К. Экономия энергии при эксплуатации зданий и пассивные системы использования солнечной энергии / А. К. Соловьев. – Текст : непосредственный // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – № 10. – С. 179–189.



8. Деяб, А. А. Оценка ресурсов солнечного излучения для технологического развития возобновляемой энергетики на примере территории Ирака / А. А. Деяб, А. В. Кретинин, Т. В. Щукина, П. А. Попов. – Текст : непосредственный // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2020. – № 34-36 (356-358). – С. 12–21.

9. Коркина, Е. В. Расчёт теплоступлений от солнечной радиации за отопительный период и естественного освещения помещений зданий / Е. В. Коркина. – Москва : Издательство МИСИ-МГСУ, 2019. – 56 с. – ISBN 978-5-7264-2027-1. – Текст : непосредственный.

10. Расчёты теплоступления в здание от проникающей солнечной радиации за отопительный период. – Москва : Минстрой России. ФАУ ФЦС, 2017. – 111 с. – Текст : непосредственный.

11. Самарин, О. Д. Расчёт воздухообмена в помещениях здания для вентиляции и кондиционирования воздуха / О. Д. Самарин. – Москва : Издательство МИСИ-МГСУ, 2006. – 35 с. – Текст : непосредственный.

FROLOVA Anastasia Anatolyevna, candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the chair of heat and gas supply and ventilation; KONDRATYUK Andrey Stepanovich, undergraduate student of the chair of heat and gas supply and ventilation

ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF SOLAR RADIATION ON THE ANNUAL LOAD OF HEAT CONSUMPTION IN A BUILDING

National Research Moscow State University of Civil Engineering
26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russia.

Tel.: +7 (495) 781-80-07; fax: +7 (499) 183-44-38; e-mail: FrolovaAA@mgsu.ru

Key words: solar radiation, domestic heat input, heating system, building heat consumption, public building.

The article assesses the influence of solar radiation on the annual load of heat consumption of a public building depending on various options for the orientation of the building facades and taking into account variable internal domestic heat inputs in Moscow, which allows making a forecast for reducing the load on the heating system during the heating season of the year.

REFERENCES

1. Malyavina E. G., Frolova A. A. Vliyanie teplostupleniy v pomeshchenie ot solnechnoy radiacii na uroven energeticheski celesoobraznoy teplozashchity zdaniya [The influence of heat input into a room from solar radiation on the level of energy-efficient thermal protection of a building]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo. [News of higher educational institutions. Construction]. 2019, № 8, P. 56-66.

2. Bodrov M. V., Kuzin V. Yu., Yulanova A. F., Prytkova E. M. O poleznom ispolzovanii teplostupleniy sistemami otopleniya sovremennykh mnogokvartirnykh zhilykh domov [On the beneficial use of heat supply by heating systems of modern apartment buildings]. Privolzhskiy nauchny zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.- stroit. un-t. Nizhny Novgorod, 2021, № 4. P. 89-96.

3. Bodrov M. V., Kuzin V. Yu., Prytkova E. M. O vliyaniy metodov snizheniya teplopotrebleniya sistem obespecheniya parametrov mikroklimate na harakteristiki sistem otopleniya zhilykh domov [On the influence of methods of reducing heat consumption of



systems for providing microclimate parameters on the characteristics of heating systems in residential buildings]. *Santekhnika, Otoplenie, Konditsionirovanie* [Plumbing, Heating, Air conditioning]. 2021, № 11, P. 50-53.

4. Gvozdokov A. N., Kondaurov P. P., Suslova O. Yu. *Novye resheniya po ekonomii teplovooy energii v administrativnykh zdaniyakh* [New solutions for saving thermal energy in administrative buildings]. *Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhaiushchei sredy* [Quality of indoor air and the environment]. *Materialy XII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii Ministerstva obrazovaniia i nauki RF Volgogradskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelny un-t Rossiiskaya akademiya arkhitektury i stroitelnykh nauk RAASN sostavitel A.N. Gvozdokov. Volgograd, 2014, P. 156-162.*

5. Gvozdokov A. N., Kondaurov P. P., Suslova O. Yu. *Otsenka effektivnosti ispolzovaniya energoresursov po rezultatam energeticheskikh obsledovaniy* [Assessing the efficiency of energy resource use based on the results of energy surveys]. *Kachestvo vnutrennego vozdukha i okruzhaiushchei sredy* [Quality of indoor air and the environment]. *Materialy XII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii Ministerstva obrazovaniya i nauki RF Volgogradskiy gosudarstvennyy arkhitekturno-stroitelny un-t Rossiiskaya akademiya arkhitektury i stroitelnykh nauk RAASN sostavitel A.N. Gvozdokov. Volgograd, 2014, P. 334-339.*

6. Dvoretzkiy A. T., Klevets K. N., Morgunova M. A., Denisova T. V. *Primenenie passivnogo solnechnogo nagreva i okhlazhdeniya zdaniy v energoeffektivnom stroitelstve* [Application of passive solar heating and cooling of buildings in energy-efficient construction]. *Energо i resursoeffektivnost maloetazhnykh zhilykh zdaniy* [Energy and resource efficiency of low-rise residential buildings]. *Sbornik dokladov III Vserossiiskoy nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Novosibirsk, 2017, P. 57-61.*

7. Solovev A. K. *Ekonomiya energii pri ekspluatatsii zdaniy i passivnye sistemy ispolzovaniya solnechnoy energii* [Energy savings in building operation and passive solar energy systems]. *Stroitelstvo i tekhnogennaya bezopasnost* [Construction and industrial safety]. 2018, № 10, P. 179-189.

8. Deyab A. A., Kretinin A. V., Shchukina T. V., Popov P. A. *Otsenka resursov solnechnogo izlucheniya dlya tekhnologicheskogo razvitiya vozobnovliaemoy energetiki na primere territorii Iraka* [Assessment of solar radiation resources for the technological development of renewable energy using the example of Iraq]. *Alternativnaya energetika i ekologiya* [Alternative energy and ecology]. 2020, № 34-36, P. 12-21.

9. Korkina E. V. *Raschet teplopostupleniy ot solnechnoy radiatsii za otopitelny period i estestvennogo osveshcheniya pomeshcheniy zdaniy* [Calculation of heat gain from solar radiation during the heating period and natural lighting of building premises]. Moscow, *Izd-vo MISI-MGSU, 2019, 56 p.*

10. *Raschety teplopostupleniya v zdanie ot pronikayushchey solnechnoy radiatsii za otopitelny period* [Calculations of heat input into the building from penetrating solar radiation during the heating period]. Moscow, *Minstroy Rossii. FAU FTSS, 2017, 111 p.*

11. Samarin O. D. *Raschyot vozdukhоobmena v pomeshcheniyakh zdaniya dlya ventilatsii i konditsionirovaniya vozdukha* [Calculation of air exchange in building premises for ventilation and air conditioning]. Moscow, *Izd-vo MISI-MGSU, 2006. 35 p.*

© А. А. Фролова, А. С. Кондратюк, 2025

Получено: 16.01.2025 г.