

УДК 628.89:692.82

Оценка инсоляции жилых помещений**Середа С.Н.**

Целью работы является исследование влияния солнечной радиации на микроклимат жилых помещений путем оценки количества тепловой энергии, поступающей в помещение через светопрозрачные ограждающие конструкции зданий. Рассматривается структура измерительного комплекса, позволяющего осуществлять измерения и дистанционный контроль параметров микроклимата помещения посредством сети Интернет. Представлены результаты наблюдений метеорологических параметров в осенний период, предшествующий началу отопительного сезона. Предложена математическая модель экспериментальной оценки количества солнечной радиации, проникающей в помещение через окна. Установлена эмпирическая зависимость поступающей теплоты и относительной влажности воздуха в помещении. По результатам экспериментов показано влияние солнцезащитной пленки на термозащиту окон. Дана количественная оценка продолжительности инсоляции и количества солнечной радиации, проникающей в помещение через окно.

Ключевые слова: микроклимат, инсоляция, солнечная радиация, ограждающие конструкции, математическое моделирование.

*А солнце осенью совсем-совсем другое –
Не жаркое, а просто золотое.
Сменив свой нрав горячий на истому,
Оно опять манит нас прочь из дома.*
Наталья Рыбальская

Введение

Осень в средней полосе России характеризуется пониженными ночными температурами и высокой влажностью воздуха, особенно в дождливую погоду, что оказывает влияние на микроклиматические параметры жилых помещений, смещая их значения из зоны комфорта на границу зоны допустимых воздействий. Для обеспечения комфортных условий среды в жилых зданиях используются инженерные системы отопления, вентиляции и кондиционирования [1, 2]. Научно-практический интерес представляет задача анализ параметров микроклимата жилых помещений и оценка влияния солнечной радиации, поступающей в помещения, до начала отопительного сезона в осенний период.

Нормирование параметров микроклимата жилых помещений, как показателей среды обитания человека, проводится в соответствии с документами [3, 4]. ГОСТ 30494 определяет допустимые температуры воздуха 20 – 28°C в теплый период и 18 - 24°C в холодный период (когда среднесуточная температура наружного воздуха не превышает +8°C), а также комфортные значения влажности 30% -

60% (допустимая не более 65%) в теплый период и 30% - 45% (допустимая не более 60%) в холодный период.

Одним из источников поступления теплоты в помещении, наряду с тепловыделениями от электроприборов и человека, является инсоляция помещения через оконные проемы за счет инфракрасной составляющей в спектре потока солнечной радиации. Солнечный свет создает естественную освещенность в помещении, влияет на микроклимат помещений и психофизиологические процессы в организме человека. Требования инсоляции жилых помещений, определенные в строительных нормах и санитарных нормах и правилах [5], регламентируют нормы инсоляции с учетом географического и климатического расположения объекта, в том числе с целью предотвращения излишней солнечной радиации и теплового перегрева, что реализуется посредством объемно-планировочных решений, вентилируемых конструкций, а также применением различных солнцезащитных устройств [6, 7]. Расчеты инсоляции помещений различными методами проводят при проектировании объектов строительства, а также для проверки на соответствие санитарным нормам в условиях изменения городской застройки [8, 9]. При этом одним из инструментов анализа инсоляции является математическое и компьютерное моделирование [10, 11].

По различным оценкам доля солнечной радиации, проникающей в помещение через окна, составляет от 20% до 40% от общего потока солнечной энергии (рис.1). Применение энергосберегающих технологий, как-то защитные термопленки с внутренней стороны стекла или стеклопакеты с наполнением инертным газом и т.п., позволяет улучшить теплозащитные характеристики окон [12, 13].

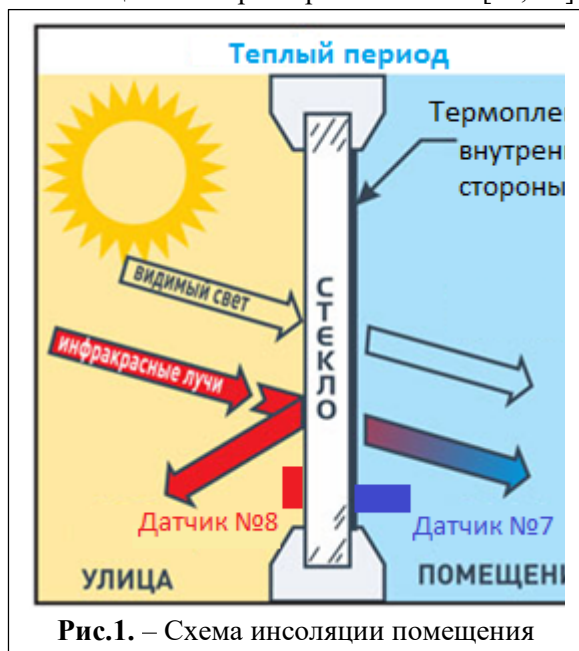


Рис.1. – Схема инсоляции помещения

Описание измерительной установки

Измерения температуры и относительной влажности воздуха жилого помещения проводились с помощью измерительного комплекса, являющегося составной частью автоматизированной системы управления автономным отоплением [14], который включает:

— датчик №7 комнатной температуры и относительной влажности воздуха (рис.2, а) ZONT МЛ-745, размещенный на подоконнике у окна внутри помещения;

— датчик №8 наружной температуры воздуха (рис.2, б) ZONT МЛ-711, размещенный на поверхности окна с наружной стороны;

— радио-модуль ZONT МЛ-489 (рис.2, в);

— контроллер GSM ZONT Н-1 (рис.2, г).

Показания датчиков отображаются посредством web-интерфейса в личном кабинете на сайте [15], а также через мобильное приложение на смартфоне.



Рис.2. – Измерительное оборудование

Датчик №8 «Улица» размещался снаружи светового проема на поверхности окна, а датчик №7 «Комната» в помещении на подоконнике у окна на солнечной стороне (ориентация окон Юго-восток).

Математическая модель оценки поступления солнечной радиации

Для оценки количества солнечной радиации, проникающей в помещение, можно с некоторым допущением использовать формулу расчета теплопотерь (Вт) через ограждающие конструкции

$$Q = F \cdot \Delta T \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n / R_0, \quad (1)$$

где F – площадь ограждения, m^2 ; R_0 – приведенное сопротивление теплопередач, равное от 0,49 до 0,8 в зависимости от градусо-суток отопительного периода [16], $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$; ΔT – разность температур на границе разделения сред, $^\circ C$; β – коэффициент, учитывающий добавочные теплопотери через ограждения; n – коэффициент, учитывающий понижение расчетной разности температур для ограждений, отделяющих отапливаемое помещение от неотапливаемого.

С другой стороны, рассматривая окно, через которое солнечная радиация проникает в помещение, как греющую поверхность – источник теплоты, можно с достаточной точностью рассчитать тепловой поток за счет теплопередачи через окно (Вт)

$$Q = \alpha \cdot F \cdot \Delta T, \quad (2)$$

где F – площадь греющей поверхности, m^2 ; α – коэффициент теплоотдачи греющей поверхности, для стекла от 1,9 до 2,3 [17], $\frac{Вт}{m^2 \cdot ^\circ C}$; ΔT – разность средней температуры греющей поверхности и температуры воздуха в помещении, $^\circ C$, либо, как разность наружной и внутренней температур поверхности окна [18].

Помимо трансмиссионного теплового потока через окна проходит тепловой поток, обусловленный инфильтрующимся наружным воздухом [19], величина которого равна

$$Q_{и} = 0,28 \cdot c \cdot \rho \cdot k \cdot G_{и} \cdot \Delta T, \quad (3)$$

где c – удельная теплоемкость воздуха, равная 1 кДж/(кг· $^\circ C$); ρ – плотность воздуха в помещении, равная 1,2 кг/ m^3 ; k – экономайзерный коэффициент, учитывающий частичный подогрев воздуха при его просачивании и равный 0,8 для двойного остекления в отдельных переплетах, 0,7 для тройного остекления, а в остальных случаях 1. ΔT – разность температур наружного и внутреннего воздуха на

границе раздела сред, $^\circ C$; $G_{и}$ – расход воздуха, инфильтрующегося через ограждающие конструкции, кг/ч.

Суммарная разность наружных температур воздуха равна

$$\Delta \bar{T}_н = \int_{t_1}^{t_2} (T_н - T_{н0}) dt, \quad (4)$$

где t_1, t_2 – моменты времени начала и окончания инсоляции помещения за счет прямого и рассеянного светового потока; $T_н$ – температура наружного воздуха, регистрируемая при прямом солнечном потоке; $T_{н0}$ – наименьшая суточная температура наружного воздуха, регистрируемая до восхода солнца.

Суммарная разность температур воздуха в помещении равна

$$\Delta \bar{T}_в = \int_{t_1}^{t_2} (T_в - T_{в0}) dt, \quad (5)$$

где t_1, t_2 – моменты времени начала и окончания инсоляции помещения за счет прямого и рассеянного светового потока; $T_в$ – температура воздуха в помещении, регистрируемая при прямом солнечном потоке; $T_{в0}$ – наименьшая суточная температура воздуха в помещении.

Тогда можно рассчитать суммарное количество тепловой энергии, поступающей в помещение и отраженной от окна, подстановкой в формулу (2) $\Delta \bar{T}_в$ и $\Delta \bar{T}_н$ соответственно.

Доля солнечной радиации, проникающей в помещение через окно, определяется

$$E_{инс} = \frac{Q_в}{Q_н} \cdot 100\%. \quad (6)$$

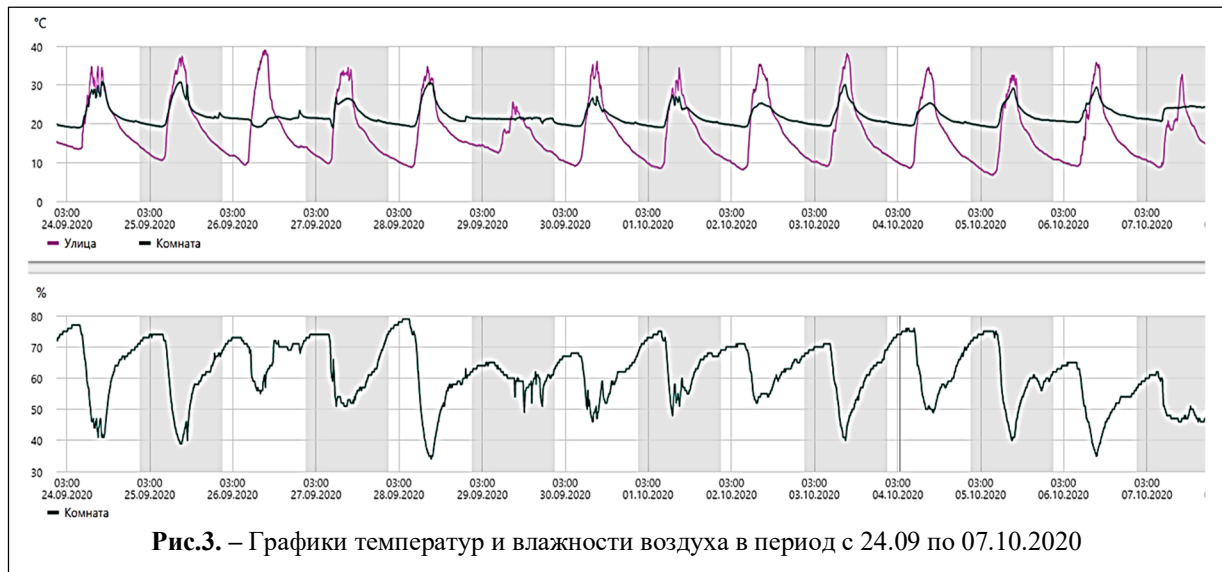
Доля солнечной радиации, отраженной от поверхности окна, определяется

$$E_{отр} = 1 - E_{инс}. \quad (7)$$

Анализ результатов эксперимента

На рис. 3 показаны графики температуры наружного воздуха и температуры и влажности воздуха в помещении в период с 24.09. по 07.10.2020 до начала отопительного сезона.

Динамика изменения температур отражает суточные колебания, обусловленные восходом и заходом солнца. Поступление в помещение теплоты от прямого солнечного света приводит к росту температуры внутреннего воздуха выше $+30^\circ C$ в зоне светового проема и падению влажности воздуха до 40%. В



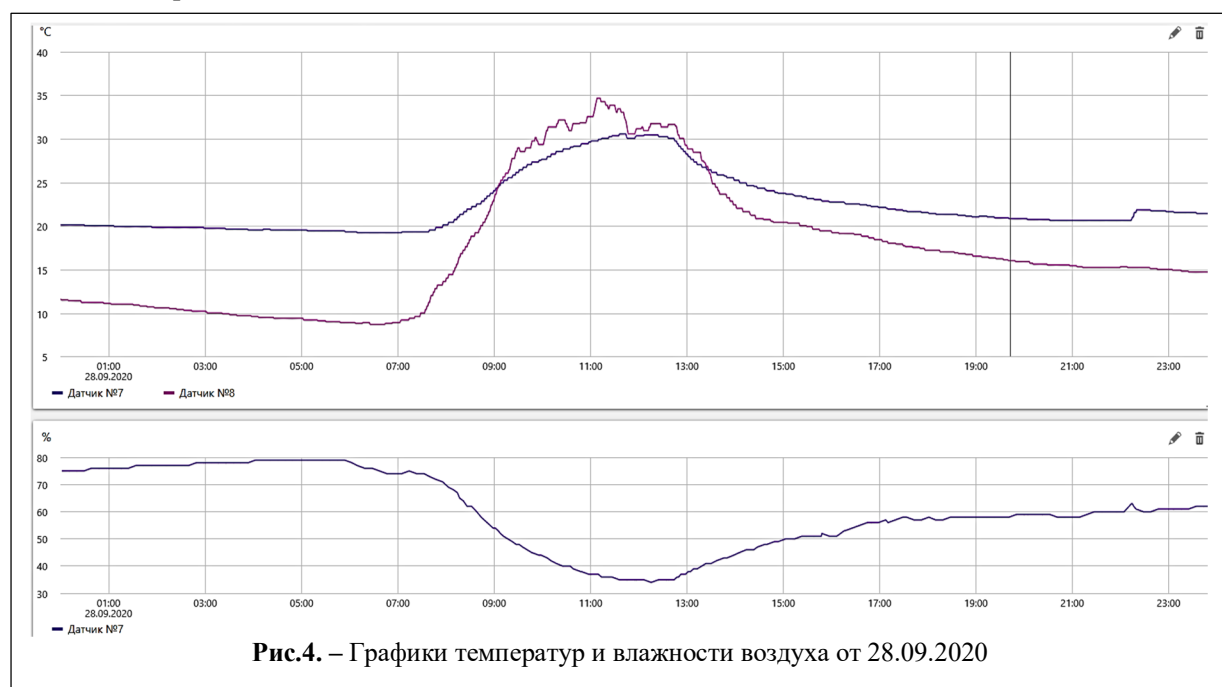
остальное время суток в отсутствии солнца в помещении относительная влажность воздуха выше допустимого, а температура воздуха в пределах допустимой.

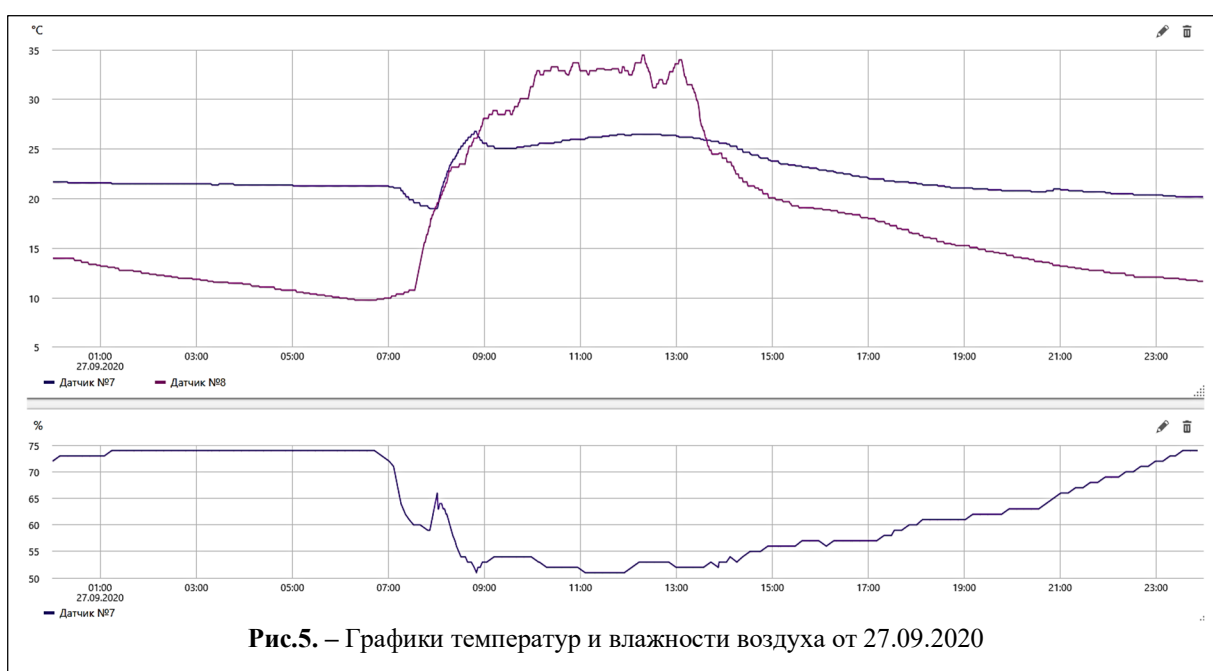
На рис. 4 показаны графики температур и влажности воздуха в помещении 28.09.2020.

Уличная температура растет с 8,8°C до 34,7°C, максимум достигается в 11:08. В 12:46 за счет движения солнца по небосводу датчик №8 оказывается в зоне тени, что приводит к дальнейшему снижению температуры наружного воздуха. В ночное время до утра комнатная температура в пределах от 20,2 до 19,4°C, влажность воздуха составляет 75 – 79%. Восход солнца приводит к снижению влажности

до минимума 34% и росту комнатной температуры воздуха до 30,1°C в полдень, но затем с перемещением солнца влажность растет, а комнатная температура воздуха падает до 20,7°C.

На рис. 5 показаны графики температур и влажности воздуха в помещении от 27.09.2020 при тех же положениях датчиков. При этом оконная солнцезащитная матовая пленка закрыта, играя роль фильтра, что позволяет избежать перегрева воздуха в помещении, вызванного инсоляцией.



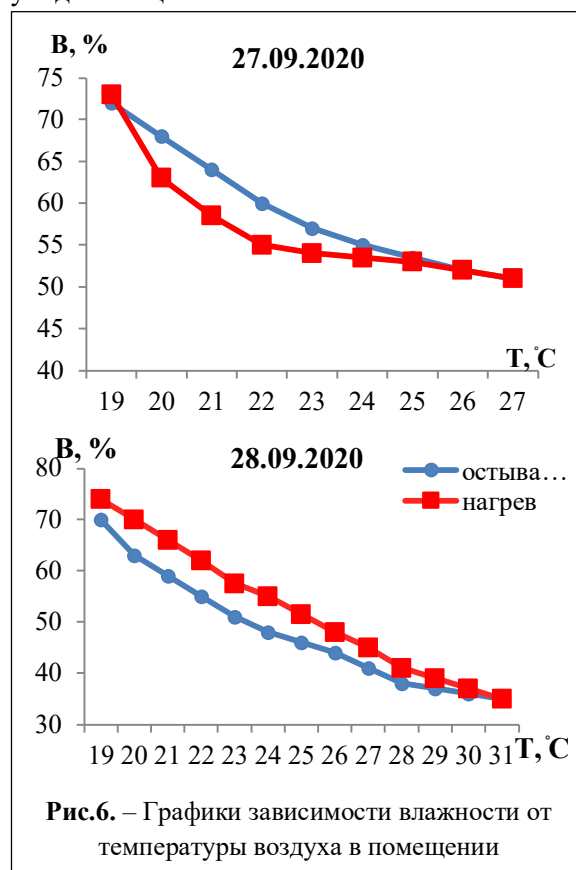


Динамика изменения температур и влажности воздуха в целом соответствует описанной выше. Максимум температуры на наружной поверхности окна достигается в полдень 34,5°C. В 13:05 датчик №8 оказывается в зоне тени и комнатная температура воздуха падает до 20,2 °С в 23:58. Влажность воздуха в помещении при отсутствии отопления и инсоляции составляет 73 – 74%. Солнечная радиация снижает влажность воздуха до минимума 51% в 11:07 при опущенной солнцезащитной пленке с момента времени 8:50, при этом комнатная температура воздуха растет до 26,8°C. далее растет до 74%. Открытие форточки на проветривание, с 7:15 до 8:00, приводит к снижению комнатной температуры до 19°C.

Для условий проведения эксперимента можно пренебречь тепловым потоком за счет инфильтрации воздуха, полагая $\Delta T \approx 0$. Как следует из рис.3, показания датчика температуры воздуха в помещении от 26.09 зафиксированные при открытой форточке.

Графики зависимости относительной влажности воздуха от температуры воздуха в помещении, изменяемой при поступлении солнечной радиации, построенные по данным наблюдений, показаны на рисунке 6. Можно заключить, что данная зависимость имеет близкий к линейному характер при отсутствии светозащитной пленки, и имеет небольшое отклонение для периода нагрева воздуха

на прямом солнце и остывания воздуха после ухода солнца.



Солнцезащитная пленка на окне меняет характер зависимости на экспоненциальный при нагреве за счет уменьшения доли тепловой энергии, проникающей в помещение.

Результаты расчетов по формулам (6) и (7) показывают, что количество теплоты,

проникающей в помещение через окно и отраженной от поверхности окна, составляют 41,2% и 58,8% соответственно. Если закрыта солнцезащитная пленка, то соотношение доли проникающей в помещение тепловой энергии солнца и отраженной составляет 16% и 84% соответственно.

Максимальное количество солнечной радиации, рассчитанное на момент времени с максимальной дневной температурой, составило 80,6 Вт*ч, а за восьмичасовой световой период, с 7:00 до 15:00, 408 Вт*ч/м². Согласно статистическим данным, среднесуточная инсоляция для периода сентябрь – октябрь на широте г. Москва составляет от 2,4 до 1,08 кВт*ч/м² [20]. Указанные данные приводятся для прямого потока солнечного излучения, падающего на перпендикулярную поверхность облучения. Поэтому, отклонение экспериментальных данных количества солнечной энергии обусловлено углом падения солнечного излучения к окну по месту проведения измерений, а также неравномерностью потока, вызванного облачностью атмосферы.

Продолжительность инсоляции жилых помещений зданий в центральной зоне России (58° с.ш.- 48° с.ш.), согласно нормам, составляет не 2 часов в день с 22 марта по 22 сентября, а в остальное время не нормируется [5]. Фактическая инсоляция по результатам наблюдений (рис.3) для объекта исследования, г. Муром, 55°34'21" с. ш. 42°03'05" в. д., ориентация окон на Юго-восток, показывает, что продолжительность инсоляции за двухнедельный период с 24.09.2020 по 07.10.20 составила около 4 часов ежедневно, за исключением пасмурных дней 29.09 и 07.10.

Литература

1. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003.
2. СП 131.13330.2018. «СНиП 23-01-99* Строительная климатология»
3. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях.
4. СанПиН 2.1.2.2645-10 «Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях» *Документ*

утратил силу с 1 января 2021 года в связи с изданием Постановления Правительства РФ от 08.10.2020 N 1631.

5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01. Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий (с изменениями на 10 апреля 2017 года).
6. Инсоляция / Стильный интерьер. Онлайн-журнал [Электронный ресурс]. URL: <https://si-3.ru/insolyatsiya/>
7. Золотозубов Д.Г., Карманова О.С. Анализ влияния изменения инсоляции квартир на энергосбережение // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. 2016, Т. 7, № 1. С. 82-92. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.1.11
8. Бахарев Д.В., Орлова Л.Н. О нормировании и расчете инсоляции // Светотехника. 2006. №1. С.18-27.
9. Куприянов В.Н., Халикова Ф.Р. К исследованию инсоляции жилых помещений // АCADEMIA архитектура и строительство. 2010, № 3. С. 477-482.
10. Стрижак П.А., Морозов М.Н. Математическое моделирование теплового режима здания с учетом инсоляционных теплопоступлений // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015, Т.326, №8. С.36-46.
11. Милосердов Е.П., Сидоров А.А., Шарипов Л.А. Расчет и моделирование естественного освещения помещений // Информационная среда вуза. 2015, №1 (22). С.102-107
12. Борухова Л.В., Шибeko А.С. Проектирование конструктивных солнцезащитных устройств // Наука и техника. 2016, Т.15. №2. (<https://cyberleninka.ru/article/n/proektirovanie-konstruktivnyh-solntsezashitnyh-ustroystv>)
13. Теплосберегающие и энергосберегающие стеклопакеты [Электронный ресурс]. URL: <https://oknabm.ru/about/articles/teplo-energo-steklopakety/>
14. Серeda С.Н. Дистанционное управление системой автономного отопления // «Современные наукоемкие технологии». - 2020. № 6-2. – С. 283-287.
15. Интернет-сервис ZONT [Электронный ресурс]. URL: <https://zont-online.ru/>
16. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-03.
17. Коэффициент теплопередачи стекла / Строительный портал [Электронный ресурс]. URL: <https://oknaforlife.ru/poleznaya-informatsiya/koeffitsient-teploperedachi-stekla>
18. Штокман Е.А. Основы отопления и вентиляции: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 345 с.
19. Сибикин Ю.Д. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Академия, 2006.

20. Количество солнечной энергии в регионах России / Real Solar [Электронный ресурс. URL:

<https://realsolar.ru/article/solnechnye-batarei/kolichestvo-solnechnoy-energii-v-regionah-rossii/>

Поступила 08 сентября 2020 г.

The aim of the work is to study the influence of solar radiation on the microclimate of residential premises by assessing the amount of thermal energy entering the room through the translucent enclosing structures of buildings. The structure of the measuring complex, which allows to measure and remotely control the parameters of the microclimate of the room via the Internet, is considered. The results of observations of meteorological parameters in the autumn period preceding the heating season are presented. A mathematical model for the experimental estimation of the amount of solar radiation entering the room through the windows is proposed. The empirical relation of the incoming heat and the relative humidity of the air in the room is established. According to the results of experiments, the influence of the sunscreen film on the thermal protection of windows is shown. A quantitative assessment of the duration of insolation and the amount of solar radiation entering the room through the window is given.

Key words: microclimate, insolation, solar radiation, enclosing structures, mathematical modeling.

Серёда Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» Муромского института (филиала) ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых».

E-mail: sereda-2010@mail.ru.

Адрес: 602264, Муром, ул. Орловская, д. 23.