

УДК 628.8:697.112

Моделирование теплового режима отапливаемого помещения с остекленным балконом

Середа С.Н.

Целью работы является математическое и компьютерное моделирование теплового режима отапливаемого помещения с остекленным балконом. В работе проводится анализ влияния изменения температуры наружного воздуха и режима проветривания на тепловой режим помещения. Рассматривается параметрическая математическая модель отапливаемого помещения с остекленным балконом, определяющая динамику теплообменных процессов при изменении стационарных условий в режиме проветривания. Дается эмпирическая оценка параметров математической модели теплообмена в режиме проветривания помещения. Предложена имитационная модель помещения с остекленным балконом в среде Matlab Simulink. Адекватность предложенной модели и подтверждается совпадением результатов компьютерного моделирования и экспериментальных данных наблюдений изменения температур воздуха.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, математическое моделирование, теплообмен, тепловой режим, микроклимат.

Введение

Для обеспечения комфортных и безопасных условий жизнедеятельности человека в холодный период применяются системы централизованного или автономного теплоснабжения, предназначенные для подачи тепловой энергии в жилые и общественные здания, а также здания и сооружения промышленных предприятий. Параметры микроклимата, а именно, температура и относительная влажность воздуха в помещении, скорость движения воздуха и тепловые поступления, регламентируются строительными и санитарными нормами и правилами [1, 2]. На микроклимат жилых помещений оказывают влияние множество факторов, в том числе географическое положение здания, погодные условия, инсоляция, теплопотери ограждающих конструкций, качество и надёжность функционирования систем отопления, инфильтрация наружного холодного воздуха во время проветривания [3]. Кроме того, на тепловой режим отапливаемого помещения оказывает влияние конструктивные особенности планировки, как, например, остекление балкона. При проектировании зданий и сооружений необходимо обеспечить тепловую защиту [4] с учётом требований по энергоэффективности. На тепловой режим здания также оказывает влияние эффективность управления системой отопления с целью энергосбережения [5] и расход тепловой энергии [6]. С целью оценки

теплового режима здания и решения задач оптимизации по управлению работой систем отопления проводят его энергетическое моделирование [7].

Постановка задачи исследования

Объектом исследования выступает рядное помещение в многоквартирном жилом доме с остекленным балконом, расположенное на среднем этаже многоквартирного жилого дома (рис.1). Ориентация фасада на Север. Централизованное теплоснабжение в холодный период осуществляется от газовой котельной. В помещении непосредственно под окном установлен 11-секционный чугунный радиатор отопления с теплоотдачей 17600 Вт.

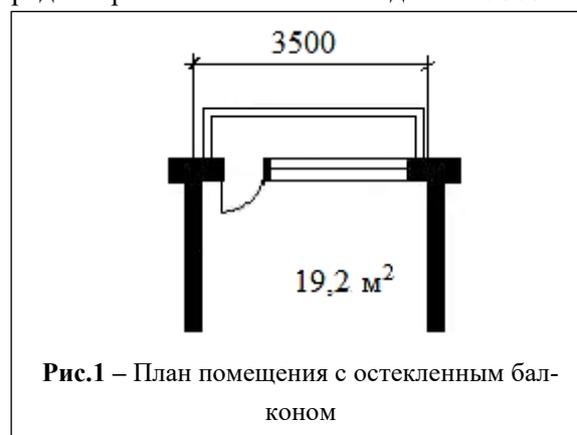
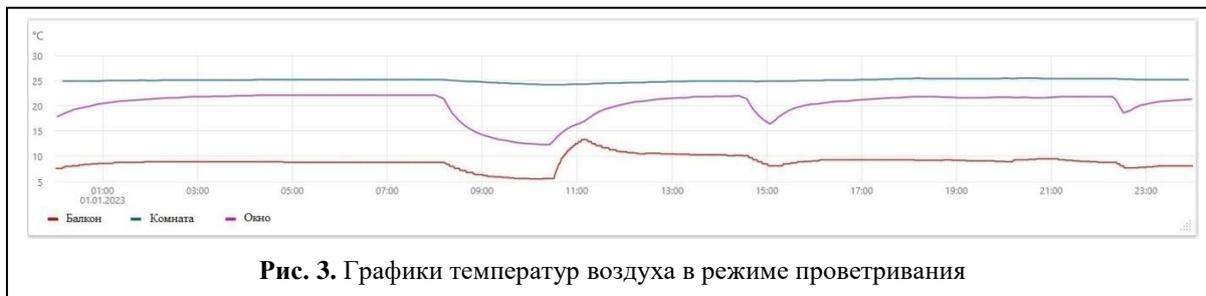
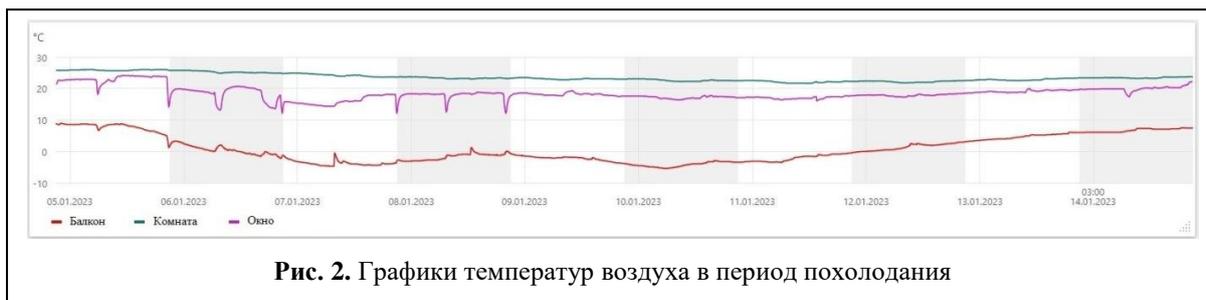


Рис.1 – План помещения с остекленным балконом

Наружная стена – кирпич, толщиной 650 мм с внутренним слоем штукатурки. Оконные проёмы и дверь выхода на балкон – двойной стеклопакет REHAU(58мм). Балкон также



имеет одинарное остекление по всей ширине наружной стены. Окна, как в помещении, так и на балконе имеют дискретную регулировку угла открытия в режиме проветривания и могут полностью открываться, как и балконная дверь.

Изменение температуры наружного воздуха, например, резкое похолодание, приводит к увеличению теплопотерь через наружные ограждающие конструкции. Открытие окон для проветривания увеличивает инфильтрацию холодного наружного воздуха в помещение. Указанные процессы приводят к изменению теплового режима помещения. При этом тепловой режим помещения с остекленным балконом будет отличаться от режима помещения при отсутствии остекления балкона.

Экспериментальное наблюдение за изменением параметров микроклимата (температуры воздуха и влажности воздуха) в реальном времени проводилось с помощью измерительной системы, содержащей контроллер ZONT-H1 и радио-датчиков, расположенных внутри помещения на расстоянии один метр от окна и непосредственно на подоконнике, а также снаружи окна на балконе. Влияние изменения температуры наружного воздуха (похолодание) на тепловой режим помещения показано на рис.2., а влияние режима проветривания показано на рис.3.

Таким образом, рассматриваемый объект исследования можно характеризовать как двухкамерное (двухсекционное) помещение с присущей ему термодинамикой. Тогда научный интерес представляет математическое и



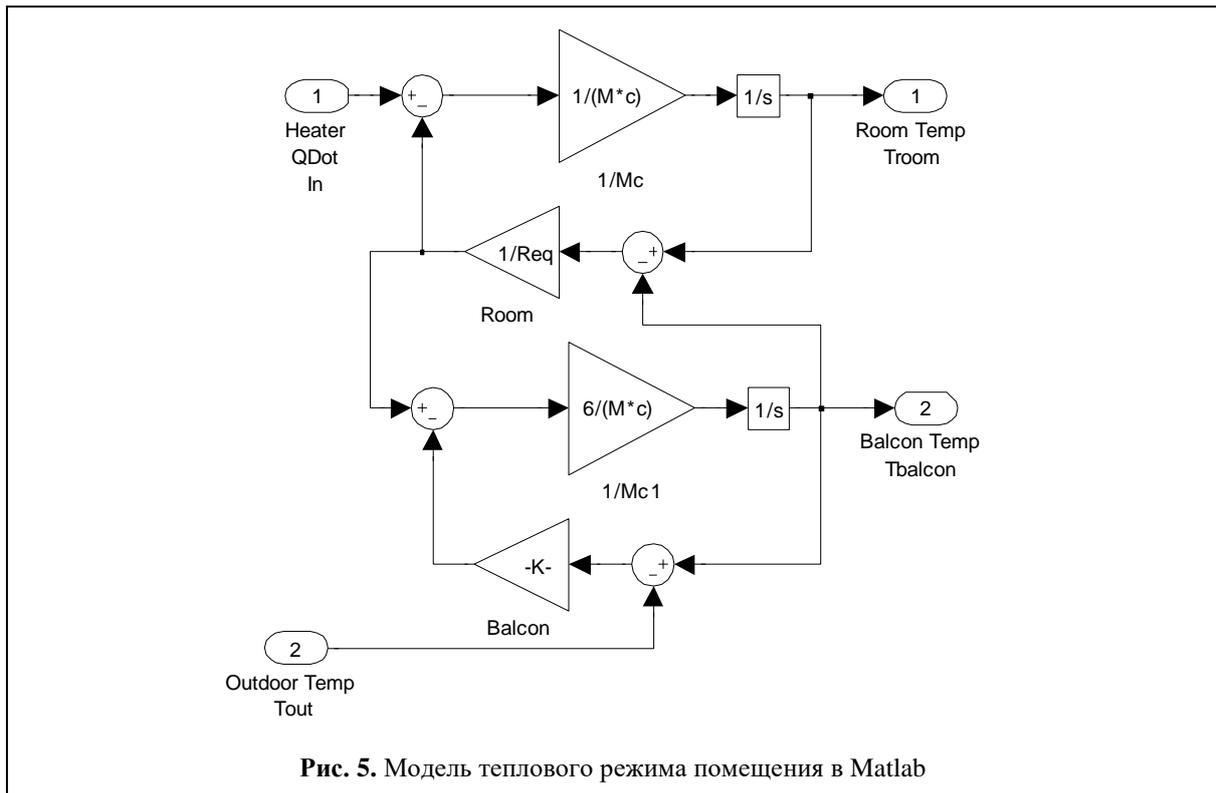


Рис. 5. Модель теплового режима помещения в Matlab

компьютерное моделирование теплового режима отапливаемого помещения с остекленным балконом и анализ влияния изменения температуры наружного воздуха и режима проветривания на тепловой режим помещения.

2. Математическая модель теплового режима помещения

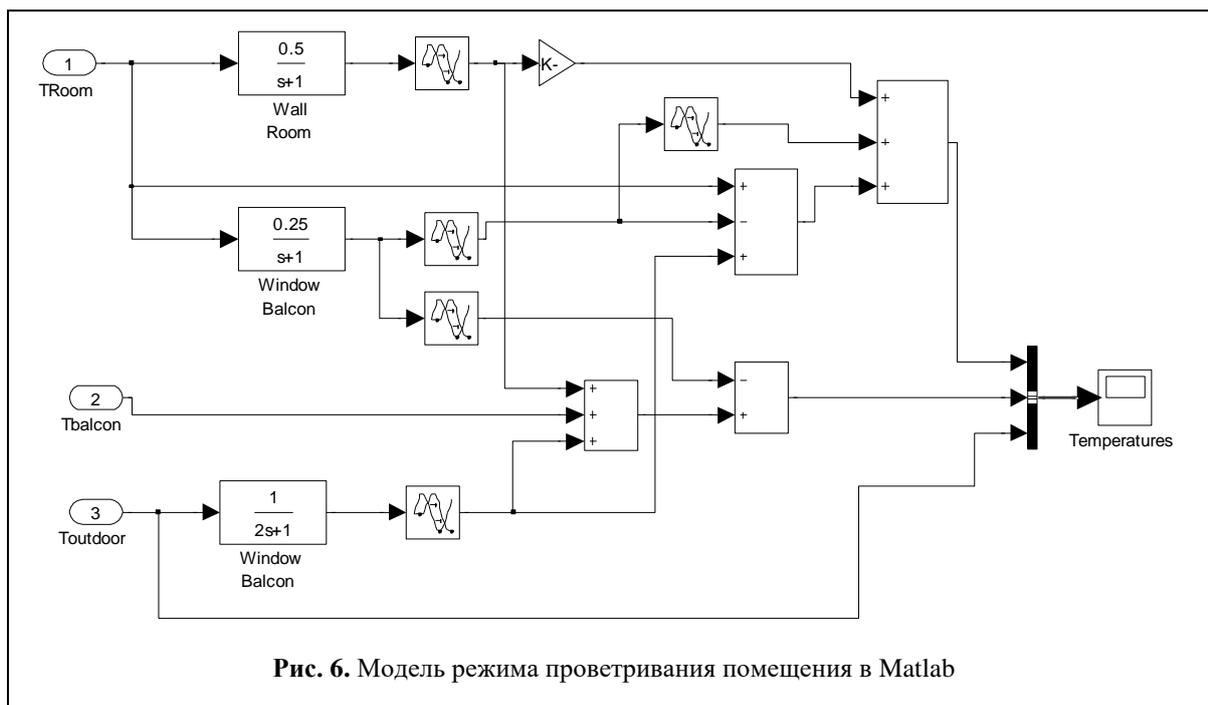
Тепловой режим характеризуется температурой воздуха в помещении, тепловыми поступлениями от системы централизованного отопления и теплопотерями через ограждающие конструкции. Кроме того, на тепловой режим оказывает влияние остекление балкона. Примем допущение, что система централизованного отопления работает в стационарном режиме при заданной температуре наружного воздуха, то есть тепlopоступления Q_{co} от радиаторов системы отопления постоянные. Тогда динамику изменения температуры воздуха в помещении и теплопотери можно описать системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dQ_n}{dt} = \frac{T_n - T_6}{R_n} \\ \frac{dQ_6}{dt} = \frac{T_6 - T_n}{R_6} \\ \frac{dT_n}{dt} = \frac{1}{M_n \cdot c} \left(Q_{co} - \frac{dQ_n}{dt} \right) \\ \frac{dT_6}{dt} = \frac{1}{M_6 \cdot c} \left(\frac{dQ_n}{dt} - \frac{dQ_6}{dt} \right) \end{cases} \quad (1)$$

где T_n , T_6 – температуры воздуха в помещении и на балконе, °С; R_n , R_6 – приведенные сопротивления наружных ограждающих конструкций стены с окном и застекленного балкона, м²°С/Вт; Q_n , Q_6 – тепловые потоки через ограждающие конструкции помещения и балкона, Вт; M_n , M_6 – объемные массы воздуха в помещении и на балконе, кг; c – теплоемкость воздуха, Вт/кг · °С.

3. Компьютерная модель теплового режима помещения

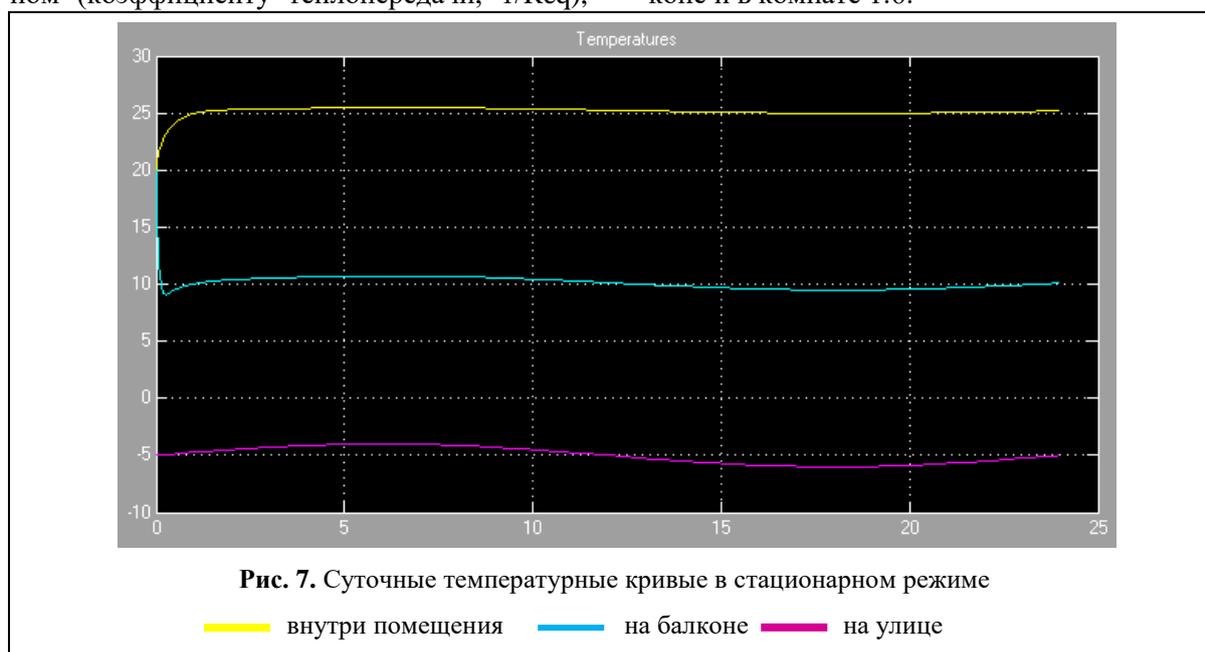
В качестве инструментального средства математического моделирования применяются различные прикладные программы для математических расчетов, как например, Mathcad, MatLab, Scilab, SimInTech и другие. Для проведения расчета теплового режима помещения с учетом предложенной математической модели была создана имитационная модель исследуемого объекта в среде моделирования



MATLAB со строенным пакетом Simulink [9], показанная на рис.5.

На вход модели поступают данные температур наружного воздуха (Outdoor Temp Tout) и потока теплоты от системы отопления (Heater QDotIn). Нагрев воздуха в комнате происходит согласно математической модели с учетом теплотерь через ограждающие конструкции, что происходит в цепи обратной связи с коэффициентом передачи равным обратному значению приведенного сопротивления теплопередачи наружной стены с окном (коэффициенту теплопередачи, $1/Req$),

где в качестве температуры наружного воздуха выступает температура воздуха на балконе. В свою очередь, для балкона приток теплоты происходит из обогреваемого помещения с теплотерями через ограждения, а расход вызван теплотерями через наружное остекление балкона с приведенным сопротивлением (K). На выходе модели формируются значения температур воздуха внутри помещения (Room Temp p Troom) и на балконе (Balcon Temp Tbalcon). В модели принято соотношение объемных масс воздуха на балконе и в комнате 1:6.



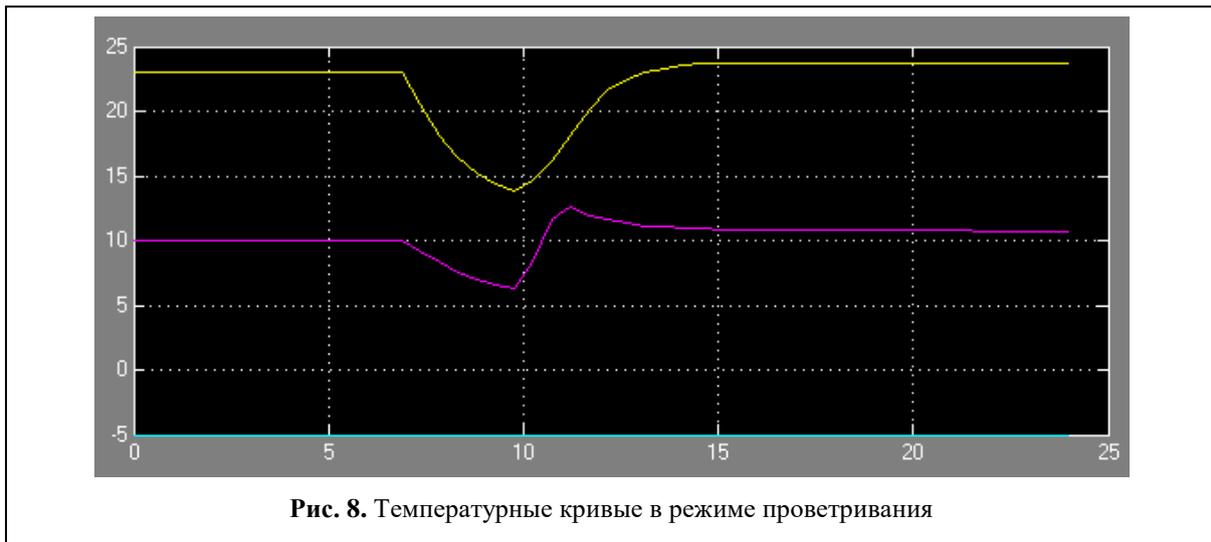


Рис. 8. Температурные кривые в режиме проветривания

Для моделирования теплового режима помещения в режиме проветривания построим имитационную модель (рис.6), в виде подсистемы, на вход которой поступают значения температур наружного воздуха, в помещении и на балконе, формируемые в предыдущей модели (рис.5). Тепловые потоки при открытии и закрытии окон для проветривания моделируются блоками инерционных звеньев первого порядка (Wall Room, Window Room, Window Balcon), параметры которых подбираются с учётом динамики изменения температуры по данным наблюдений (рис.3). Моменты времени открытия и закрытия окон моделируются с помощью звеньев задержки.

4. Результаты модельного эксперимента

Результаты моделирования квазистационарного теплового режима приведены на рис.7. Температура наружного воздуха в течение суток имеет незначительные флуктуации со среднесуточной температурой -5°C . При этом, температура воздуха на балконе составила около $+10^{\circ}\text{C}$, а в отапливаемом помещении $+25^{\circ}\text{C}$. Значения параметров модели подобраны так, что результаты модельного эксперимента соответствуют данным наблюдений.

Результаты моделирования режима проветривания показаны на рис.8. Одновременное открытие окон в комнате и на балконе приводит к понижению температур воздуха в расчетных точках, вызванному инфильтрацией холодного воздуха с наружи помещения.

Закрытие балконного окна при открытом окне в помещении меняет характер тепловых потоков, а именно тёплый воздух из помещения проникает на балкон и происходит небольшой рост температуры воздуха на балконе. Закрытие обоих окон возвращает систему в состояние термодинамического равновесия через определенное время.

Следует отметить, что распределение температур по всему объёму помещения и балкона, как и в отдельном сечении неравномерное. На практике наблюдаются как вертикальные тепловые потоки, так и неодинаковые температуры в граничных зонах по сравнению с точками в глубине помещения, как, например, показано в работе [10].

Температура прогрева воздуха на балконе изменяется по экспоненциальному закону, а именно, данные наблюдений непосредственно у окна со стороны балкона показывают плюсовые значения, тогда как с внутренней стороны наружного остекления балкона температура воздуха близка к нулю при отрицательной температуре наружного воздуха, что обусловлено теплопотерями через наружное остекление балкона. Профиль температуры $T(x)$ воздуха на балконе в поперечном сечении (x, m) смоделирован в программе MathCad (рис.9).

Заключение

В работе проведён анализ влияния изменения температуры наружного воздуха и режима проветривания на тепловой режим помещения. Предложена математическая модель

отапливаемого помещения с остекленным балконом, определяющая динамику теплообменных процессов при изменении стационарных условий в режиме проветривания. Предложена имитационная модель помещения с остекленным балконом в среде Matlab Simulink. Адекватность предложенной модели и подтверждается совпадением результатов компьютерного моделирования и экспериментальных данных наблюдений изменения температур воздуха.

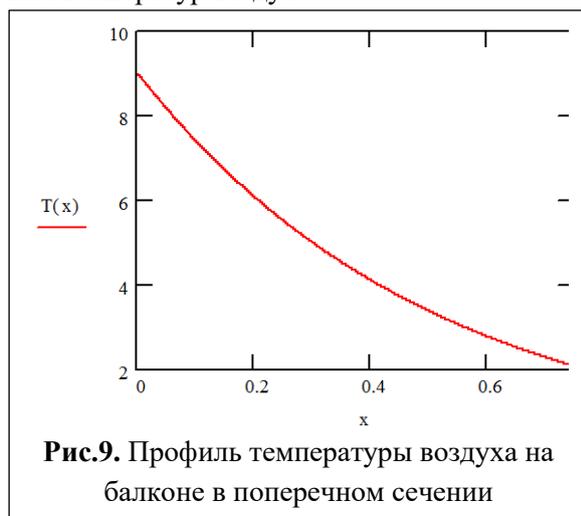


Рис.9. Профиль температуры воздуха на балконе в поперечном сечении

Литература

1. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. - М.: Стандартинформ, 2013. 12 с.

Поступила 12 сентября 2022 г.

The aim of the work is mathematical and computer modeling of the thermal regime of a heated room with a glazed balcony. The paper analyzes the effect of changes in outdoor temperature and ventilation mode on the thermal regime of the room. A parametric mathematical model of a heated room with a glazed balcony is considered, which determines the dynamics of heat exchange processes when stationary conditions change in the ventilation mode. An empirical estimation of the parameters of the mathematical model of heat transfer in the mode of room ventilation is given. A simulation model of a room with a glazed balcony in the Matlab Simulink environment is proposed. The adequacy of the proposed model is confirmed by the coincidence of the results of computer simulation and experimental data from observations of changes in air temperatures.

Key words: computer modeling, mathematical modeling, heat exchange, thermal regime, microclimate.

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.

2. СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека фактов среды обитания.

3. СП 131.13330.2018. «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». Дата введения 2012-06-30. М.: Стандартинформ, 2019. 114 с.

4. СП 50.13330.2012 Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 (с Изменением N 1). Дата введения 2013-07-01. М.: Стандартинформ, 2012. 89 с.

5. Панферов В.И., Анисимова Е.Ю., Панферов С.В. Эффективные энергосберегающие решения при теплоснабжении зданий // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». - 2015. Т. 15, № 4. С. 40–48 DOI: 10.14529/build150407

6. Лысёв В.И., Коцюлим Н.Н., Кучанский В.А. Оценка энергопотребления для отопления и охлаждения зданий // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Холодильная техника и кондиционирование. - №1, 2018. - с.24-29

7. Волков А.А., Седов А.В., Челышков П.Д. Энергетическое моделирование объектов строительства. – М.: МГСУ, 2014. – 120с.

8. Штокман Е.А. Основы отопления и вентиляции: учеб. пособие. – Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 345с.

9. Дьяконов В., Круглов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем: специальный справочник. – СПб.: Питер, 2002. – 444с.

10. Добросмыслов С.С., Рожкова Н.Н., Рожков А.Ф., Перькова М.А., Алиев С.А. Влияние воздушной прослойки на температурно-влажностные характеристики наружной ограждающей конструкции при внутреннем утеплении. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2021;48(2). - с. 81-91. <https://doi.org/10.21822/2073-6185-2021-48-2-81-91>