

Численное моделирование микроклимата в торговых помещениях

Рецензия эксперта на статью получена 31.07.2024 [The expert review of the article was received on July 31, 2024]

Обеспечение требуемых параметров микроклимата в общественных зданиях имеет свои особенности, которые зависят от назначения здания, от климатических характеристик местности, в которой расположено здание, от его архитектурных, конструктивных и функциональных особенностей, от характера, интенсивности поступления и периодичности во времени вредных выделений в обслуживаемой зоне помещений здания [1]. Комплекс требований, методы выбора принципиальных решений систем вентиляции и кондиционирования воздуха подробно рассмотрены в монографии А.Г. Сотникова [2]. Согласно нормативным требованиям, представленным в ГОСТ 30494–2011 [3], установлены оптимальные и допустимые параметры микроклимата в зависимости от категории или наименования помещений при проектировании систем, обеспечивающих микроклимат тех или иных зданий. Кроме того, при проектировании систем вентиляции или кондиционирования воздуха общественных зданий некоторые требования представлены в ГОСТ Р 59972–2021 [4], СП 118.13330.2022 [5], СП 464.1325800.2019 [6], СП 44.13330.2011 [7].

Объектами исследования в данной статье являются общественные здания с торговыми и выставочными помещениями, расположенные в разных климатических условиях. Особенности таких зданий является наличие торговых, офисных, складских помещений, паркингов и помещений другого назначения разных площадей и объемов с различными тепло-, влаго- и газовыделениями. Для каждого вида указанных выше помещений могут быть выбраны различные варианты си-

Согласно нормативным требованиям, представленным в ГОСТ 30494–2011 [3], установлены оптимальные и допустимые параметры микроклимата в зависимости от категории или наименования помещений при проектировании систем, обеспечивающих микроклимат тех или иных зданий

стем вентиляции и кондиционирования воздуха на основе предложенных обобщенных рекомендаций [8–12] общие и по результатам численного моделирования [11]. При этом для данных помещений наиболее важно обеспечить и качество воздушной среды [12, 13]. Наиболее сложными с точки зрения организации воздухообмена являются торговые залы, отличающиеся значительными теплоизбытками, особенности расчёта которых приведены в работе [14]. Особенности объёмно-планировочных и функциональных решений, переменный характер тепловых нагрузок, их влияние на выбор целесообразных вариантов систем вентиляции и кондиционирования воздуха рассмотрены в работах [14, 15].

Одним из наиболее эффективных методов исследования распределения параметров микроклимата в помещениях различного назначения является численное моделирование процессов тепломассообмена [16, 17], широко используемое в самых различных технических системах, в том числе для исследований систем вентиляции и кондиционирования воздуха [18]. В настоящее время разработки и успешно применяются раз-

УДК 697.95:628.87. Научная специальность: 2.1.3.

Численное моделирование микроклимата в торговых помещениях

В.М. Уляшева, д.т.н., профессор; **Ю.В. Иванова**, к.т.н., доцент; **Е.А. Аншукова**, к.т.н., доцент, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ)

Представлены результаты численного моделирования параметров воздушной среды торгового-выставочного зала автомобильного центра и торгового зала общественного здания с использованием программного комплекса STAR-CCM+ при различных способах организации воздухообмена и воздушораспределения. Рассмотрены особенности формирования параметров микроклимата исследуемых помещений с применением систем общеобменной приточно-вытяжной вентиляции и системы кондиционирования воздуха, получены поля распределения температуры и скорости движения воздуха для предлагаемых способов организации воздухообмена. Проведён анализ полученных результатов по существующим инженерным решениям обеспечения требуемых параметров воздушной среды согласно нормативным документам. По результатам математического моделирования представлены рекомендации по эффективному применению современных систем обеспечения и поддержания микроклимата в помещениях зданий с постоянным пребыванием людей, имеющих переменные значения теплопритоков.

Ключевые слова: микроклимат, допустимые и оптимальные параметры, воздухообмен, численное моделирование, общественные здания.

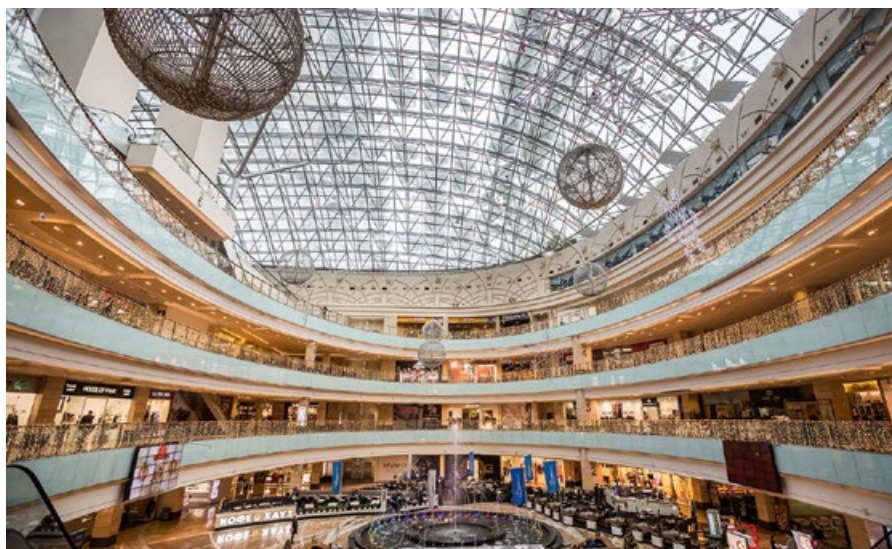
UDC 697.95:628.87. The number of scientific specialty: 2.1.3.

Numerical simulation of the microclimate in commercial premises

V.M. Ulyasheva, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Yu.V. Ivanova**, PhD, Associate Professor; **E.A. Anshukova**, PhD, Associate Professor, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)

The results of numerical modeling of the air environment parameters of the trade and exhibition hall of the automobile center and the trading hall of a public building using the STAR-CCM+ software package for various methods of organizing air exchange and air distribution are presented. The features of the formation of the microclimate parameters of the studied premises with the use of general exchange supply and exhaust ventilation systems and air conditioning systems are considered, the fields of temperature distribution and air velocity for the proposed methods of organizing air exchange are obtained. The analysis of the obtained results on existing engineering solutions for ensuring the required parameters of the air environment in accordance with regulatory documents is carried out. Based on the results of mathematical modeling, recommendations are presented for the effective use of modern systems for providing and maintaining a microclimate in buildings with permanent residence of people with variable values of heat flows.

Keywords: microclimate, acceptable and optimal parameters, air exchange, numerical modeling, public buildings.



личные программные комплексы. Так, в работе [19] для численного моделирования воздухообмена и воздухораспределения в двух торговых залах размерами 15×9 м и смежных помещений выполнено на «облачной» платформе SimScale, разработанной немецкой компанией SimScale GmbH и предназначенной для численного моделирования гидродинамики и теплообмена.

В результате моделирования получены поля распределения температуры и скорости движения воздуха в холодный период года для выявления перетоков воздуха между помещениями и зон с повышенной скоростью движения воздуха, застойных зон. Однако отсутствие подробной информации о системах вентиляции, местах размещения приточных и вытяжных устройств не позволяет выполнить адекватную оценку целесообразности использования платформы SimScale.

Среди наиболее известных программных комплексов, успешно применяемых в исследованиях микроклимата помещений при функционировании различных систем вентиляции и кондиционирования воздуха, можно отметить STAR-CCM+

и AnsysCFX, что отмечено, например, в работе [20].

Численное моделирование позволяет выполнить анализ различных схем организации воздухообмена и воздухораспределения для обоснования выбора наиболее рационального варианта.

Методы

Применение численного моделирования в качестве методов исследования воздушной среды общественных зданий с переменными тепловыми нагрузками позволяет получить трёхмерную картину течения воздушных потоков, полей температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха, распределения вредных веществ в помещении, провести анализ принятых проектных решений по системам обеспечения микроклимата или выбрать оптимальное решение по организации воздухообмена, которое позволит избежать ошибок и неоправданных затрат, особенно если это касается проектирования, например, архитектурно сложных объектов (театры, концертные залы, торговые и спортивные комплексы, бассейны и пр.).



На формирование полей микроклиматических параметров оказывают влияние многие факторы. При этом наиболее интенсивно влияют приточные струи, конвективные струи над нагретыми источниками теплоты, потоки вблизи светопрозрачных конструкций. Также можно отметить влияние потоков вблизи вытяжных отверстий, течения, формируемые при действии механического оборудования, фанкойлов и внутренних блоков фреоновых систем, движении людей и множество других факторов. Кроме того, каждый из данных потоков в свою очередь существенно зависит от режима работы и геометрических размеров помещения, начальных и граничных условий формирования (параметров воздуха на выходе или входе в помещение; характеристики и направления потоков теплоты, влаги, газов, пыли, любых примесей и т.д.).

Учесть совместное действие всего многообразия факторов, используя аналитические методы расчёта воздухообмена и воздухораспределения, практически невозможно. Вследствие такого многообразия действующих факторов решать задачи обоснования наиболее целесообразных вариантов создания нормируемых параметров микроклимата удаётся только в результате использования численного моделирования процессов гидродинамики и теплообмена.

Численное моделирование основано на решении системы дифференциальных уравнений Навье — Стокса, уравнений неразрывности, энергии и примесей [16–18] с использованием k - ϵ -модели турбулентности [21]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \bar{p}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{p} \bar{u}_i + \overline{p' u'_i}) &= S_m; \\ \rho \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right) &= - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \\ &+ \mu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_i^2} \right) + \frac{\partial \tau'_{ij}}{\partial x_j} + S_i; \\ \frac{\partial (\bar{\rho} \bar{a})}{\partial t} + \frac{\partial (\bar{\rho} \bar{a} \bar{u}_i)}{\partial x_j} &= - \frac{\partial (\bar{\rho} \bar{u}'_i \bar{a}')}{\partial x_j} + \bar{J}_a, \end{aligned} \quad (1)$$

где t — время; ρ — плотность; μ — коэффициент динамической вязкости; $\bar{u}_j$ — компоненты вектора осреднённой скорости по осям координат; τ'_{ij} — турбулентные напряжения (дополнительные напряжения Рейнольдса); $\bar{u}_i$, $\bar{u}_j$, $\bar{T}$ и $\bar{C}$ — локальные пульсации скорости, температуры и примеси потока, соответственно; $\bar{a}$ — осреднённые значения удельной плотности скалярной величины; S_m и S_i — интенсивность источников массы и импульса, соответственно; $\bar{J}_a$ — интенсивность источников примеси.

Анализ состояния воздушной среды в исследуемых помещениях выполнен в программном комплексе SolidWorks (модуль Flow Simulation [22]). Поскольку объекты существенно различаются по назначению, то в каждом случае необходимо оценить наиболее важные параметры. Так, в торгово-выставочном зале автосалона должен быть выполнен анализ содержания кислорода исходя из возможного поступления выхлопных газов. Для одного из торговых залов, расположенных на первом этаже административного здания,

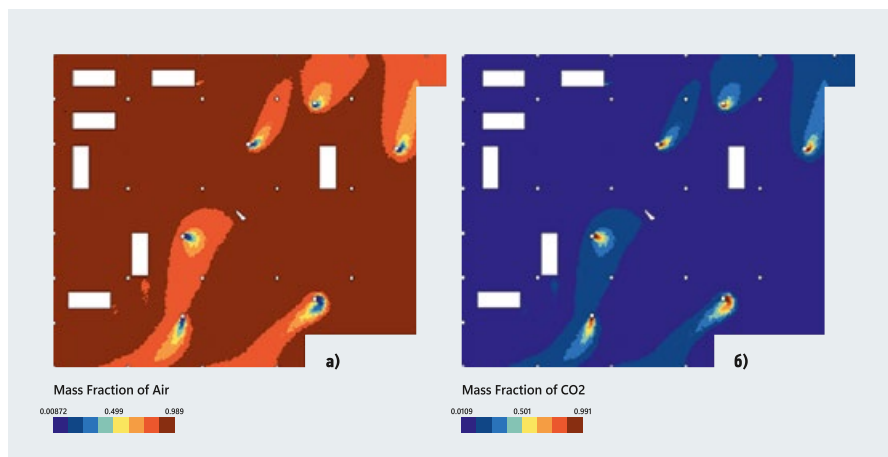


Рис. 1. Массовая доля воздуха (а) и CO₂ (б) в горизонтальном сечении помещения



Рис. 2. Поле температур в горизонтальном сечении помещения

рассмотрен анализ функционирования системы кондиционирования воздуха, обеспечивающей охлаждение в тёплый период года. Подобные объекты являются в настоящее время одним из наиболее распространённых видов торговых залов.

Согласно ГОСТ 30494–2011 [3], в помещениях общественных зданий с постоянным пребыванием людей должны быть обеспечены допустимые параметры микроклимата, в частности, в тёплый период установлены следующие: температура — 18–28°C; относительная влажность — не более 65%; подвижность воздуха — не более 0,25 м/с.

Торгово-технический центр предназначен для продажи, сервиса и технического обслуживания автомобилей. Численное моделирование воздушной среды выполнено в торгово-выставочном зале центра размерами в плане 47,8×38,2 м и высотой 4,7 м.

В качестве моделей автомобилей приняты параллелепипеды размерами 2×5,2×1,5 м, выхлопная труба задана отдельно. В качестве моделей людей также приняты параллелепипеды (блоки) размером 0,5×0,5×1,8 м. В торгово-выставочном зале одновременно находятся

шесть человек и семь автомобилей, которые являются источниками выделения углекислого газа (CO₂). По заданию скорость потока газов для автомобилей составляла 0,63 м/с; скорость потока углекислого газа для людей — 0,058 м/с.

Воздухообмен в данном помещении организован по схеме «сверху-вверх» с при-

менением системы приточно-вытяжной вентиляции. Для подачи воздуха предусмотрены 34 вентиляционные решётки размером 500×200 мм, расположенные вдоль стен под потолком, для удаления — 14 вытяжных решёток размером 500×200 мм. Скорость воздушного потока на входе и выходе вентиляционных решёток принята 1,1 м/с. Результаты моделирования представлены в виде полей температуры, концентраций воздуха и углекислого газа, показанных на рис. 1–3.

На первом этаже административного здания расположены четыре торговых зала, для обеспечения требуемых параметров микроклимата предусмотрены механические приточно-вытяжная системы вентиляции и VRF-система кондиционирования воздуха. Приточные и вытяжные устройства типа ДКУ-250 равномерно размещены в подвесном потолке. Системы вентиляции предусмотрены для обеспечения двукратного воздухообмена, определённого на ассимиляцию тепловлаговывытков в холодный период года с учётом минимальной нормы наружного воздуха. В результате расчёта воздухораспределения, выполненного в программе [23],

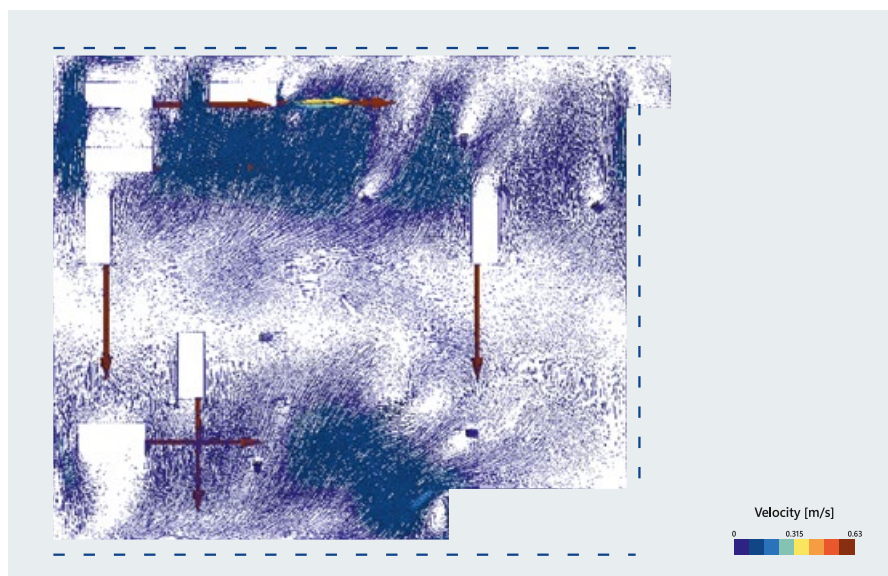


Рис. 3. Векторное отображение скоростей потоков газов в горизонтальном сечении

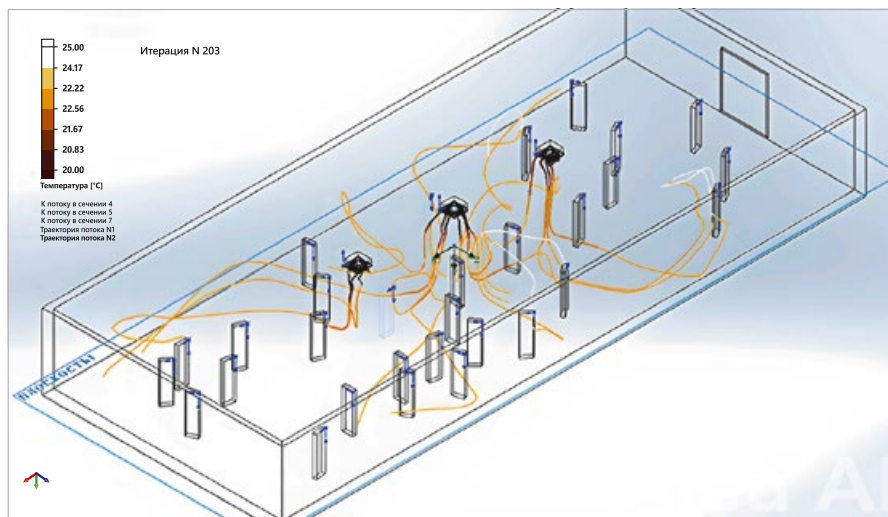


Рис. 4. Траектории потоков от внутренних блоков СКВ

при скорости истечения приточного воздуха 0,8 м/с на входе в обслуживаемую зону помещения получены значения скорости 0,1 м/с и перепад температуры 0,1 °С при разности температур на выходе из приточного диффузора 2 °С.

Для компенсации теплоизбытков в тёплый период года установлены три каскадных внутренних блока VRF-системы фирмы Hisense, хладагент — фреон R410a с параметрами 7/12 °С. Для построения геометрической модели объекта использованы следующее упрощение: фигуры людей, одновременно находящихся в помещении, показаны вертикальными блоками (29 шт.). Кроме того, влияние приточных струй и потоков у вытяжных отверстий учтено в граничных условиях. После построения геометрии помещения созданы расчётная сетка, сечения и области сгущения сетки с более мелкими ячейками у ламелей решёток внутренних каскадных блоков системы кондиционирования воздуха.

Общая продолжительность расчёта составила 283 итерации [повторяющееся использование методов численного решения исходной системы уравнений (1)], выполнявшихся до достижения результатов сходимости значений температур и скоростей воздуха.

Результаты моделирования представлены полями распределения температур, подвижности воздуха и траекториями воздушного потока (рис. 4).

Результаты и обсуждение

По итогам проведённого моделирования воздушных режимов исследуемых помещений получены следующие результаты.

В торгово-выставочном зале центра по продаже автомобилей при функционировании системы приточно-вытяжной вентиляции в тёплый период года концентрация углекислого газа соответствует ПДК; средняя температура воздуха в обслуживаемой зоне составляет 27 °С; скорость движения воздуха — не более

0,1 м/с, кроме зон у работающих автомобилей и непосредственно рядом с людьми, где выявлена скорость до 0,3 м/с; массовая доля воздуха в объёме помещения составила 96 %.

В торговом зале административного здания при действующей системе кондиционирования воздуха в рассматриваемых горизонтальном и вертикальных сечениях обслуживаемой зоны помещения получены значения температур в 20–22 °С и значения подвижности воздуха — не более 0,2 м/с, что соответствует нормируемым значениям микроклимата в тёплый период года.

Заключение

В результате численного моделирования можно сделать следующие выводы:

1. Эффективность принятых в процессе проектирования инженерных решений подтверждена соответствием полученных значений параметров микроклимата нормируемым значениям.
2. Параметры воздуха в торговом помещении административного здания соответствуют допустимым параметрам для помещений с постоянным пребыванием людей данной категории 3в.
3. При работающей системе общеобменной вентиляции в выставочном помещении салона-магазина температура внутреннего воздуха 27 °С, что соответствует допустимым параметрам. Однако для повышения уровня комфортности в выставочном зале салона следует предусмотреть систему кондиционирования воздуха, например, VRF-систему, эффективность которой подтверждена исследованиями для торгового зала административного здания. ●

1. Сотников А.Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции (Теория, техника и проектирование на рубеже столетий). В 2-х томах. Т. 1. — СПб.: АТ-Publishing, 2005. 504 с.
2. Фангер Оле П. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК, 2003. №5. С. 34–42.
3. ГОСТ 30494–2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях (с Попр., с Изм. №1 / Дата введ.: 01.01.2013).
4. ГОСТ Р 59972–2021. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха общественных зданий. Технические требования / Дата введ.: 01.02.2022.
5. СП 118.13330.2022. Общественные здания и сооружения [СНиП 31-06–2009] (с Изм. №1–3) / Дата введ.: 20.06.2022.
6. СП 464.1325800.2019. Здания торгово-развлекательных комплексов. Правила проектирования (с Изм. №1) / Дата введ.: 03.06.2020.
7. СП 44.13330.2011 Административные и бытовые здания. Актуализ. ред. СНиП 2.09.04–87 (с Попр., с Изм. №1–4) / Дата введ.: 20.05.2011.
8. Краснов Ю.С. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию для производственных и общественных зданий. — М.: Термокул, 2006. 288 с.
9. Методические рекомендации по проектированию систем вентиляции жилых и общественных зданий. — М: НП «АВОК»; Минстрой России; ФАУ «ФЦС», 2018. 87 с.
10. Тарабанов М.Г. Кондиционирование воздуха. Ч. 1. — М.: АВОК-Пресс, 2015. 212 с.
11. Вдовичев А.А. Моделирование горизонтальных настилающихся на потолок приточных струй при организации воздухообмена в офисном помещении с низкими потолками // Международный научно-исследовательский журнал, 2020. №7. Ч. 1. С. 45–55.
12. Сладкова Ю.Н., Смирнов В.В., Зарицкая Е.В. К вопросу о гигиеническом нормировании микроклимата и качестве воздуха офисных помещений // Медицина труда и промышленная экология, 2018. №5. С. 35–39.
13. Лобанов Д.В., Полосин И.И. Схема создания комфортных климатических параметров в офисах // Журнал СОК, 2015. №2. С. 58–61.
14. Брух С.В. История одного объекта, или Выбор системы кондиционирования для торгового центра // Журнал СОК, 2006. №5. С. 116–120.
15. Сотникова О.А., Иваницкая Е.Г. Адаптивные системы вентиляции торговых центров // Инженерные системы и сооружения, 2014. №3. С. 44–48.
16. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. — М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.
17. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. В 2-х томах. Пер. с англ. — М.: Мир, 1991. 552 с.
18. Гримитлин А.М., Дацюк Т.А., Денисихина Д.М. Математическое моделирование в проектировании систем вентиляции и кондиционирования. — СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. 192 с.
19. Ярцев Д.С., Цынаева А.А. Исследование работы систем вентиляции и кондиционирования торгового центра // Градостроительство и архитектура, 2019. Т. 9. №3. С. 63–73.
20. Денисихина Д.М., Мокров В.В., Иванова Ю.В. Численное моделирование истечения из современных воздухораспределительных устройств // Инженерный вестник Дона, 2018. №2.
21. Aver'yanov V., Vasiliev V., Ulyasheva V. Selection of turbulence models in case of numerical simulation of heat, air- and mass exchange processes. Proc. of the 10th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering (EKO-DOK 2018). E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 44.14 p.
22. SolidWorks | 3D CAD Design Software & PDM Systems. Dassault Systèmes; SolidWorks Corp. Режим доступа: solidworks.com. Дата обрац.: 18.09.2023.
23. Программа для расчёта воздухораспределения ComfortAir [Электр. текст]. Арктос.рус. Режим доступа: арктос.рус. Дата обрац.: 20.02.2024.

References — see page 80.

Numerical simulation of the microclimate in commercial premises. Pp. 64–67.

Vera M. Ulyasheva, Doctor of Technical Sciences, Professor; **Yulia V. Ivanova**, PhD, Associate Professor; **Ekaterina A. Anshukova**, PhD, Associate Professor, St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (SPbGASU)

1. A.G. Sotnikov. *Protsessy, apparaty i sistemy konditsionirovaniya vozdukh i ventilatsii (Teoriya, tekhnika i proektirovanie na rubezhe stoletij)* [Processes, devices and systems of air conditioning and ventilation (Theory, technology and design at the turn of the century)]. In two vol. Vol. 1. St. Petersburg. AT-Publishing ["AT-Publishing" Publishers]. 2005. 504 p. [In Russian]
2. Ole P. Fanger. *Kachestvo vnutrennego vozdukh v XXI veke: vliyanie na komfort, proizvoditel'nost' i zdorov'e ljudi* [Indoor air quality in the 21st century: impact on comfort, productivity and health of people]. AVOK [Journal of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (ABOK)]. 2003. No. 5. Pp. 34–42. [In Russian]
3. GOST 30494–2011 [State Industry Standard of Russia No. 30494–2011]. *Zdaniya zhilye i obshchestvennyye. Parametry mikroklimata v pomesheniyakh (s Popr., s Izm. №1)* [Residential and public buildings. Microclimate parameters in premises (with with Correction and Amendment No. 1)]. Date of impl.: January 1, 2013. [In Russian]
4. GOST R 59972–2021 [State Industry Standard of Russia No. 59972–2021]. *Sistemy ventilatsii i konditsionirovaniya vozdukh obshchestvennykh zdaniy. Tekhnicheskie trebovaniya* [Ventilation and air conditioning systems of public buildings. Technical requirements]. Date of impl.: February 1, 2022. [In Russian]
5. SP 118.13330.2022 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 118.13330.2022]. *Obshchestvennyye zdaniya i sooruzheniya [SNiP 31-06–2009] (s Izm. №1–3)* [Public buildings and structures [Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 31-06–2009] (with Amendments No. 1–3)]. Date of impl.: June 20, 2022. [In Russian]
6. SP 464.1325800.2019 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 464.1325800.2019]. *Zdaniya trgovno-razvlekatel'nykh kompleksov. Pravila proektirovaniya (s Izm. №1)* [Buildings of shopping and entertainment centers. Design rules (with Amendment No. 1)]. Date of impl.: June 3, 2020. [In Russian]
7. SP 44.13330.2011 [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 44.13330.2011]. *Administrativnyye i bytovye zdaniya [Administrative and utility buildings]. Aktualiz. red. SNiP 2.09.04–87 (s Popr., s Izm. №1–4)* [Updated version of Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 2.09.04–87 (with Correction and Amendment No. 1–4)]. Date of impl.: May 20, 2011. [In Russian]
8. Ju.S. Krasnov. *Sistemy ventilatsii i konditsionirovaniya. Rekomendatsii po proektirovaniyu dlja proizvodstvennykh i obshchestvennykh zdaniy* [Ventilation and air conditioning systems. Design recommendations for industrial and public buildings]. Moscow. Termokul [Thermocool]. 2006. 288 p. [In Russian]
9. *Metodicheskie rekomendatsii po proektirovaniyu sistem ventilatsii zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Methodical recommendations for the design of ventilation systems for residential and public buildings]. Moscow. Ministroy Rossii [Ministry of Construction, Housing and Communal Services of the Russian Federation (Ministry of Construction of Russia)]; EAU "FTsS" ["Federal Center for Normation, Standardization and Conformity Assessment in Construction" Federal Autonomous Institution]. 2018. 87 p. [In Russian]
10. M.G. Tarabanov. *Konditsionirovanie vozdukh* [Air conditioning]. Part 1. Moscow. AVOK-Press [Publishing House of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics ("ABOK-Press")]. 2015. 212 p. [In Russian]
11. A.A. Vdovichev. *Modelirovanie gorizonta'nykh nastilajushchikh na potolok pritochnykh struj pri organizatsii vozdukhooobmena v ofisnom pomeshenii s nizkimi potolkami* [Modeling of horizontal supply jets laid on the ceiling when organizing air exchange in an office space with low ceilings]. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* ["International Research Journal" Magazine]. 2020. No. 7. Part 1. Pp. 45–55. [In Russian]
12. Ju.N. Sladkova, V.V. Smirnov, E.V. Zaritskaja. *K voprosu o gigenicheskom normirovanii mikroklimata i kachestve vozdukh ofisnykh pomeshenij* [On the issue of hygienic standardization of microclimate and air quality in office premises]. *Meditsina truda i promyshlennaja ekologiya* ["Occupational Medicine and Industrial Ecology" Magazine]. 2018. No. 5. Pp. 35–39. [In Russian]
13. D.V. Lobanov, I.I. Polosin. *Shema sozdaniya komfortnykh klimaticheskikh parametrov v ofisakh* [Scheme for creating comfortable climatic parameters in offices]. *Zhurnal Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2015. No. 2. Pp. 58–61. [In Russian]
14. S.V. Brukh. *Istorija odnogo ob'ekta, ili Vybory sistem konditsionirovaniya dlja trgovogo tsentra* [History of one object, or Selection of air conditioning system for a shopping center]. *Zhurnal Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2006. No. 6. Pp. 116–120. [In Russian]
15. O.A. Sotnikova, E.G. Ivanitskaja. *Adaptivnyye sistemy ventilatsii i trgovykh tsentrov* [Adaptive ventilation systems of shopping centers]. *Inzhenernyye sistemy i sooruzheniya* ["Engineering Systems and Structures" Magazine]. 2014. No. 3. Pp. 44–48. [In Russian]
16. S. Patankar. *Chislennyye metody resheniya zadach teploobmena i dinamiki zhidkosti* [Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics]. Moscow. Jenergoatomizdat [Publishing House of Energy and Nuclear Industry of the USSR ("Energoatomizdat" Publishers)]. 1984. 152 p. [In Russian]
17. K. Fletcher. *Vychislitel'nye metody v dinamike zhidkostej* [Computational methods in fluid dynamics]. In two vol. Transl. from English. Moscow. Mir ["The World" Publishers]. 1991. 552 p. [In Russian]
18. A.M. Grimitlin, T.A. Datsjuk, D.M. Denisikhina. *Matematicheskoe modelirovanie v proektirovanii sistem ventilatsii i konditsionirovaniya* [Mathematical modeling in the design of ventilation and air conditioning systems]. St. Petersburg. AVOK Severo-Zapad [Publishing House of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics of the north-west part of Russia ("ABOK North-West")]. 2013. 192 p. [In Russian]
19. D.S. Jartsev, A.A. Tsynaeva. *Issledovanie raboty sistem ventilatsii i konditsionirovaniya trgovogo tsentra* [Study of the operation of ventilation and air conditioning systems in a shopping center]. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* ["Urban development and architecture" Magazine]. 2019. Vol. 9. No. 3. Pp. 63–73. [In Russian]
20. D.M. Denisikhina, V.V. Mokrov, Ju.V. Ivanova. *Chislennoe modelirovanie isticcheniya iz sovremennykh vozdukhoraspredelitel'nykh ustrojstv* [Numerical modeling of the outflow from modern air distribution devices]. *Inzhenernyj vestnik Dona* ["Engineering Bulletin of the Don" Magazine]. 2018. No. 2. [In Russian]
21. V. Averb'yanov, V. Vasiliev, V. Ulyasheva. Selection of turbulence models in case of numerical simulation of heat, air- and mass exchange processes. Proc. of the 10th Conference on Interdisciplinary Problems in Environmental Protection and Engineering (EKO-DOK 2018). E3S Web of Conferences. 2018. Vol. 44.14 p.
22. SolidWorks | 3D CAD Design Software & PDM Systems. Dassault Systèmes; SolidWorks Corp. Web-source: solidworks.com. Access date: September 18, 2023.
23. *Programma dlja rascheta vozdukhoraspredeleniya ComfortAir* [ComfortAir air distribution calculation program]. *Arktos.rus.* Web-source: arktos.rus. Access date: February 20, 2024. [In Russian]