

DOI: 10.34031/article\_5db3dd4c28ecd1.47038631

**Симбирев О.В.**

Тюменский индустриальный университет  
Россия, 625000, г. Тюмень, ул. Володарского, д. 38  
E-mail: simbirevov@gmail.com

## АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ В ЖИЛЫХ КОМНАТАХ С ПРИТОЧНЫМИ ПОДОКОННЫМИ КЛАПАНАМИ ПРИ ПОМОЩИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В ANSYS FLUENT

**Аннотация.** Основная проблема, выделенная в статье – отклонение параметров микроклимата от нормативных значений в виду неправильной организации воздушных потоков в жилых комнатах многоквартирных домов, а также затраты тепла на подогрев приточного воздуха. Цель работы: получение рабочей математической модели работы системы естественной вентиляции, и её изучение на предмет оптимизации или модернизации. Проведён анализ нормативной литературы, научных трудов отечественных и зарубежных учёных, наработок в области естественной вентиляции и вентиляции жилых зданий в целом, описывающих или упоминающих данную проблематику. Представлена и проанализирована математическая модель воздухообмена жилой комнаты с учетом конвекции. В качестве граничных условий при создании математической модели были заданы расход и температура воздуха, температура на поверхности отопительного прибора. Выявлены особенности и закономерности распределения воздушных потоков в помещении, полученные в результате математического моделирования. Приведены распределения скорости движения воздуха в объеме помещения. Обозначены сложности организации эффективного естественного притока воздуха и проблемы, связанные с конструкцией клапанов инфильтрации. Предложены технические решения, направленные на повышение качества микроклимата в помещении и энергосбережение.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, аэродинамика, естественная вентиляция, жилые здания.

**Введение.** Проблемы, связанные с работой систем вентиляции, появились по мере уменьшения воздухопроницаемости наружных ограждающих конструкций. Герметичность жилых домов существенно возросла с появлением технологий, позволяющих, производить «теплые», простые в эксплуатации и дешевые пластиковые окна [1]. Окна с деревянными рамами имели сравнительно низкие теплозащитные характеристики, но в тоже время термическое и гигроскопическое расширение, что позволяло не предусматривать какого-либо организованного притока воздуха в жилое помещение. Эта смена технологий в области создания светопрозрачных конструкций привела к появлению проблем с накоплением влаги, поскольку системы естественной вытяжной вентиляции не могут работать без притока воздуха [2, 3].

В качестве решения проблемы герметичности была предложена система вентиляции с приточными клапанами инфильтрации воздуха и контролируемые вручную вытяжными вентиляторами в санузлах и кухнях. Такая система справляется с решением задачи по удалению избытков влаги и имеет некоторую энергоэффективность, в сравнении с более простыми системами [4]. Однако, вопрос затрат тепловой энергии на подогрев приточного воздуха остается актуальным [5, 6].

**Цель работы** – получение рабочей математической модели работы системы естественной вентиляции, и её изучение на предмет оптимизации или модернизации. В качестве объекта исследования предлагается трехмерная модель скоростей и температур воздушных потоков в пространстве жилой комнаты с отопительным прибором, заданным притоком через подоконный клапан и удалением через дверной проем (рис. 1).

**Задачи:**

- смоделировать распределение скоростей и температур в пространстве;
- проанализировать распределение приточного воздуха в помещении с учетом конвективного движения в районе отопительного прибора;
- оценить возможность сокращения расхода приточного воздуха.

**Исходные данные.**

Габаритные размеры помещения  $a \times b \times h$ :  $3,5 \times 4,0 \times 2,8$  м.

Величина расхода воздуха определялась по нормативному расходу для спальных, общих комнат (или гостиных), детских комнат при общей площади квартиры на одного человека менее  $20 \text{ м}^2$  в размере  $3 \text{ м}^3/\text{ч}$  на  $1 \text{ м}^2$  площади помещения в соответствии с требованиями СП 54.13330.2016

и является наибольшим среди нормативных расходов развитых стран [7]. Из этого условия расход воздуха составляет  $42 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

Габаритные приточного устройства  $a \times h$ :  $0,5 \times 0,06 \text{ м}$ .

Температура на поверхности отопительного прибора  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

Температура приточного воздуха  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$  (средненная температура за отопительный пе-

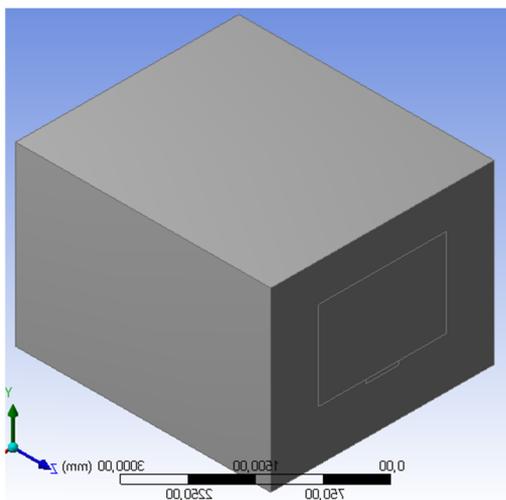


Рис. 1. Общий вид 3D-модели помещения

**Описание модели.** Математическая модель естественной вентиляции необходима для симуляции испытаний и дальнейшего анализа работы выбранной системы. В гидрогазодинамике модель движения воздуха описывается системой уравнений Навье–Стокса, конвекция описывается приближением Буссинеска. В ANSYS Fluent в ходе моделирования процесса в качестве решателя системы уравнений используется модель Спаларта-Аллмараса (SA модель), так как является подходящей для выбранного качества сетки и низким скоростям течения воздуха в помещении [8, 9].

**Результаты моделирования.** По окончании симуляции работы системы вентиляции были получены распределения скоростей и температур в помещении (рис. 3-5)

Распределения скоростей в продольном сечении (рис. 3):

наибольшая скорость движения воздуха наблюдается вдоль наружной стены  $\sim 0,8\text{--}0,9 \text{ м/с}$ ;  
вдоль плоскости потолка на высоте от  $1,5$  до  $2,5 \text{ м}$   $\sim 0,1 \text{ м/с}$ ;

вдоль плоскости пола на высоте до  $0,2 \text{ м}$   $\sim 0,1\text{--}0,2 \text{ м/с}$ ;

в обслуживаемой зоне помещения скорость движения воздуха, ниже  $1,5 \text{ м}$  от пола  $\geq 0,08$ .

риод в регионах западной Сибири, является определяющей при расчете затрат тепла на подогрев приточного воздуха).

Решаемая задача рассматривается в стационарной постановке.

Характеристики разбивочной сетки (рис. 1):  
минимальный шаг разбивки модели –  $0,001 \text{ м}$ ;

максимальный шаг разбивки модели –  $0,13 \text{ м}$ ;

количество узлов –  $1160744$  шт.;

количество элементов –  $1039844$  шт.

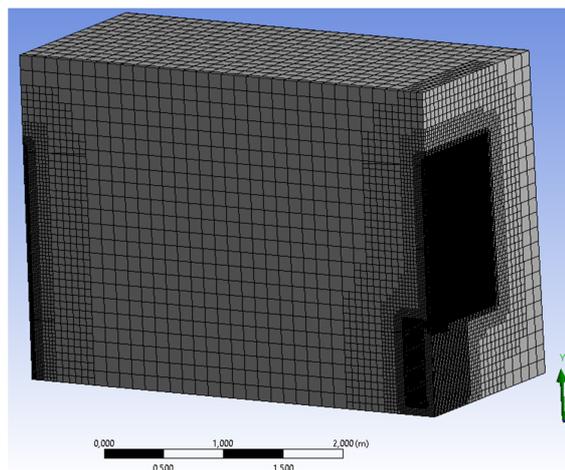


Рис. 2. Плотность шага разбивки геометрии

Распределения скоростей в горизонтальной плоскости (рис. 4), в границах обслуживаемой зоны имеют скорости, соответствующие продольным сечениям помещения. В углах и зонах около стен скорость минимальна.

На границе обслуживаемой зоны ( $0,5 \text{ м}$  от стены) у наружной стены (рис. 4) скорость движения воздуха  $\sim 0,08\text{--}0,15 \text{ м/с}$ .

Полученные результаты распределения температур свидетельствуют об отсутствии в обслуживаемой зоне областей пониженных температур. Распределение скорости в объеме помещения говорит о низкой эффективности проветривания, обслуживаемая зона помещения является застойной. Таким образом описанная схема вентиляции отвечает регламентируемым требованиям ГОСТ Р. 30494-2011 и СанПиН 2.1.2.2645-10, которые не затрагивают вопросы организации потоков воздуха и энергосбережения [10, 11], является рабочей и приемлемой, но низкоэффективной.

Также невозможно полностью исключить инфильтрацию от приточного клапана, требующего отверстие в ограждающей конструкции, и естественную тягу в холодный период года, за счет разности плотностей наружного и внутреннего воздуха [12].

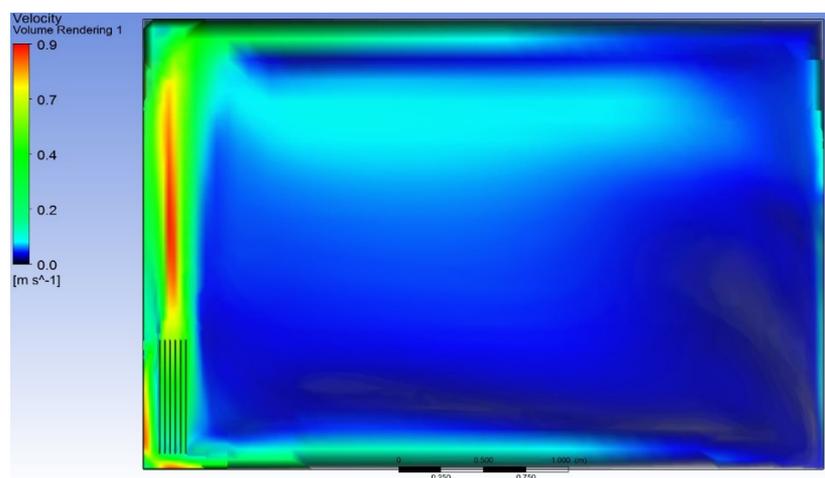


Рис. 3. Распределение скоростей в сечении через центр помещения от приточного клапана до двери

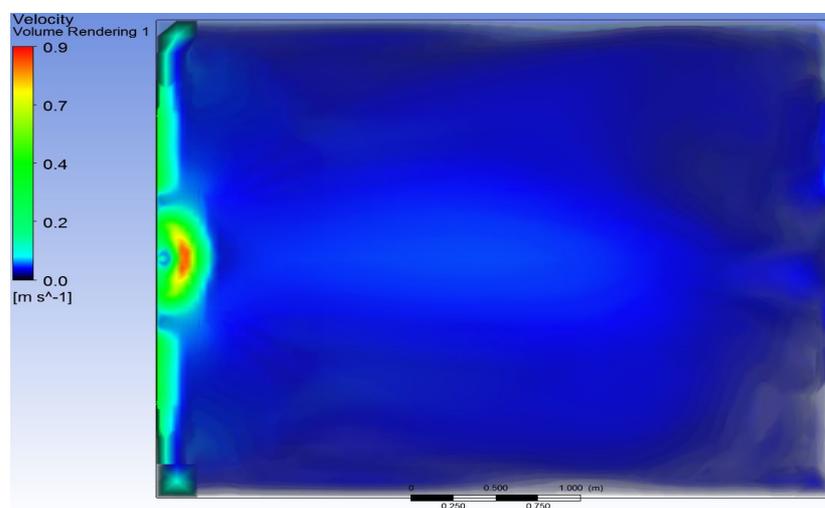


Рис. 4. Распределение скоростей на высоте 1,2 м от пола

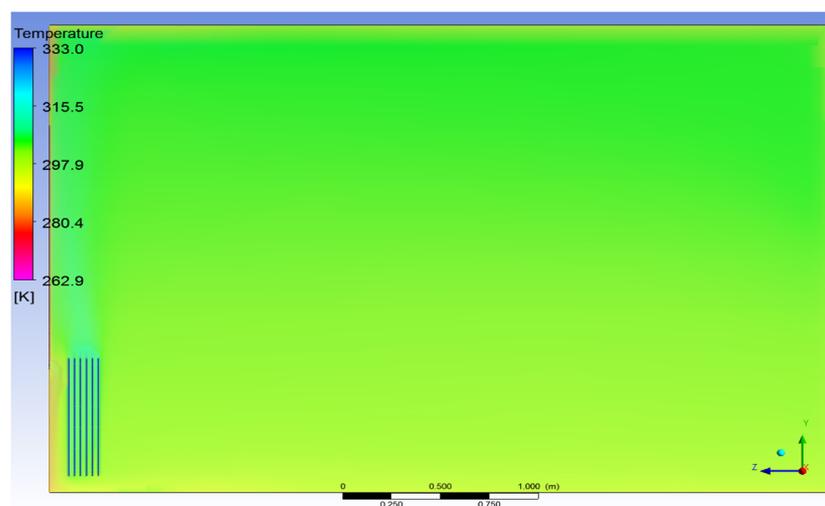


Рис. 5. Распределение температур в сечении через центр помещения от приточного клапана до двери

В случае неконтролируемой инфильтрации в холодный период даже при авторегулировании по показателям относительно влажности воздуха, невозможно поддерживать ее минимальное значение, так как при отключенной системе и закрытой створке клапана не прекращается полностью инфильтрация, и наружный холодный воздух с низким влагосодержанием осушает внутренний, что приводит к множеству негативных последствий: повышенный расход тепловой энергии, появление пыли, ухудшение самочувствия и т.д. [13, 14].

Естественный приток воздуха через клапан инфильтрации не гарантирует комфортных гигиенических условий во всем объеме помещения или в какой-то конкретной его зоне, в виду отсутствия организованного распределения воздуха [15].

При работе в теплый период года потребность в устройстве естественного притока отпадает, однако, потребление электрической энергии вытяжным вентилятором остается, так как в теплый период года естественная вытяжная вентиляции способна работать только при условии устройства дефлектора на оголовке вытяжной шахты и наличии достаточной скорости ветра [16].

Из существующих способов притока воздуха наиболее перспективным и эффективным с точки зрения распределения воздушного потока в помещении является использование механической децентрализованной системы по типу «бризер», за счет возможности создать и направить в обслуживаемую зону струю воздуха, также они требуют меньшего отверстия в конструкции стены [17]. Применение же щелевых оконных клапанов хоть и может позволить сформировать направленную струю воздуха, однако является энергозатратным мероприятием, так как нарушает профиль оконной рамы с изолированными воздушными камерами, что приводит к теплопотерям [18].

Применение «бризеров» может стать более эффективной альтернативой приточных клапанов при работоспособной системе естественной вытяжной вентиляции в теплый период, при такой схеме потребление электрической энергии в теплый период на работу системы вентиляции будет нулевой, в отличии от механической вытяжки и естественного притока, где вентилятор должен работать круглогодично. В географиях с регулярными ветрами, актуально применение дефлекторов. В безветренных регионах следует рассмотреть возможность применения солнечного вытяжного воздуховода (solar chimney), который создает тягу за счет нагрева стенок трубы от теплового солнечного излучения [19].

**Выводы.** По результатам математического моделирования и анализам распределения скоростей и температуры можно сделать следующие выводы:

– воздухообмен, организованный описанным образом, позволяет удовлетворить требованиям нормативной литературы, но нарушенная герметичность наружного ограждения приводит к перерасходу тепловой энергии на подогрев инфильтрующегося воздуха на периоды времени, когда постояльцы отсутствуют в помещении и приток не требуется;

– низкая эффективность проветривания приводит к образованию застойных зон в помещении, способствует осушке воздуха, и, как следствие, появлению пыли, ухудшение самочувствия и т.д;

– оптимальной схемой для достижения целей энергоэффективности и сменяемости воздуха будет являться механический приток и естественная вытяжка.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лебедев И.Ю., Чамчян Ю.Е. Влияние окон повышенной герметичности на микроклимат помещений // Энергетика, экология, химия: сборник статей. 2018. С. 206–211.
2. Пензин В.Э., Спиридонова Е.В. Использование клапанов инфильтрации воздуха для проветривания помещений // Актуальные проблемы и перспективы развития строительства, теплогазоснабжения и энергообеспечения. 2018. С. 224–226.
3. Береговой А.М., Дерина М.А. Наружные ограждающие конструкции в системе воздухообмена жилого многоэтажного здания // Современные проблемы науки и образования. 2015. №. 1-1. С. 24–24.
4. Каминская В.А., Перцев А.Н. Разновидности, технические особенности и условия эксплуатации приточных устройств // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2018. № 4. С. 102–109.
5. Грахов В.П., Мохначев С.А., Егорова В.Г. Эффективность энергосберегающих мероприятий в жилищном строительстве // Современные проблемы науки и образования. 2015. №. 2. С. 273–273.
6. Гагарин В.Г., Козлов В.В. Перспективы повышения энергетической эффективности жилых зданий в России // Вестник МГСУ. 2011. №. 3-1. С. 192–200.
7. Ливчак В.И. Исходные данные для расчета годового теплопотребления зданий в России // АВОК. 2015. № 5. С. 66–70.
8. Левченя А.М., Кириллов А.И., Смирнов Е.М. Численное моделирование отрывного течения в кольцевом осерадиальном диффузоре //

Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки. 2017. № 4. С. 172–180.

9. Spalart P., Allmaras S. A one-equation turbulence model for aerodynamic flows. 30th aerospace sciences meeting and exhibit. Seattle, 1992. 439 p.

10. Костуганов А.Б., Вытчиков Ю.С. Качество воздуха помещений гражданских зданий: состояние проблемы и пути решения // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии: сборник статей. 2016. С. 309–313.

11. Аверкин А.Г., Иващенко Н.Ю. К вопросу совершенствования системы естественной вентиляции в жилых зданиях // Образование и наука в современном мире. Инновации. 2018. № 1. С. 164–172.

12. Симбирев О.В., Жилина Т.С. Анализ процессов движения воздуха и его параметров в системах естественной вентиляции при помощи математического моделирования // Вестник ИШ ДВФУ. 2018. № 3. С. 112–117.

13. Guidelines for ventilation requirements in buildings. Bruxelles: Commission of European Communities. Luxembourg, 1992. 44 p.

14. Лобанов Д.В., Шичкин В.В. Учет комплекса параметров при оценке состояния микроклимата в помещении // Жилищное хозяйство и

коммунальная инфраструктура. 2017. № 4. С. 70–75.

15. Vardoulakis S. et al. Impact of climate change on the domestic indoor environment and associated health risks in the UK. Environment International. 2015. Pp. 299–313.

16. Montazeri H., Azizian R. Experimental study on natural ventilation performance of one-sided wind catcher. Building and Environment. 2008. № 12. Pp. 2193–2202.

17. Бодров М.В., Кузин В.Ю., Морозов М.С. Шаповал А.Ф. Обоснование границ применения естественных систем вентиляции многоквартирных жилых домов для Нижегородской области // Приволжский научный журнал. 2016. № 1. С. 65–71.

18. Бодров М.В., Кузин В. Ю., Морозов М.С. Влияние выбора оконных блоков на показатели энергетической эффективности теплового контура и воздушный режим малоэтажных жилых зданий // Жилищное строительство. 2017. № 6. С. 24–26.

19. Barbolini F., Cappellacci P., Guardigli L. A design strategy to reach nZEB standards integrating energy efficiency measures and passive energy use. Energy Procedia. 2017. Pp. 205–214.

#### Информация об авторах

**Симбирев Олег Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций. E-mail: simbirevov@gmail.com. Тюменский индустриальный университет. Россия, 625000, Тюмень, ул. Володарского, д. 38.

Поступила в августе 2019 г.

© Симбирев О.В., 2019

#### ***Simbirev O.V.***

*Tyumen Industrial University  
Russia, 625000, Tyumen, st. Volodarsky, 38  
E-mail: simbirevov@gmail.com*

### **ANALYSIS OF AIR FLOW DISTRIBUTION IN RESIDENTIAL ROOMS WITH SUPPLY WINDOW VALVES BY MATHEMATICAL MODELING IN ANSYS FLUENT**

**Abstract.** *The main problem highlighted in the article is the deviation of the microclimate parameters from the standard values due to the improper organization of airflow in the residential rooms of apartment buildings. The objective is to obtain a working mathematical model of the natural ventilation system, its study for optimization or modernization. The analysis of the normative literature, scientific works of domestic and foreign scientists, developments in the field of natural ventilation and ventilation of residential buildings is carried out. A mathematical model of air exchange of a residential room with convection is presented and analyzed. The flow rate and air temperature, the temperature on the surface of the heater are set as boundary conditions when creating a mathematical model. The features and regularities of airflow distribution in the room obtained as a result of mathematical modeling are revealed. The distributions of air velocity in the room are given. Difficulties of the organization of effective natural inflow of air and the problems with design of valves of infiltration are designated. Technical solutions aimed at improving the quality of indoor microclimate and energy saving are proposed.*

**Keywords:** *mathematical modeling, aerodynamics, natural ventilation, residential buildings.*

## REFERENCES

1. Lebedev I.Yu., ChAmchyan Yu.E. Influence of windows of increased tightness on indoor microclimate [Vliyanie okon povyshennoj germetichnosti na mikroklimat pomeshchenij] *Energetika, ekologiya, himiya: sbornik statej*. 2018. Pp. 206–211. (rus)
2. Penzin V.E., Spiridonova E.V. Use of air infiltration valves for airing rooms [Ispol'zovanie klapanov infil'tracii vozduha dlya provetrivaniya pomeshchenij]. *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya stroitel'stva, teplogazosnabzheniya i energoobespecheniya*. 2018. Pp. 224–226. (rus)
3. Beregovoj A. M., Derina M. A. External enclosing structures in the air-exchange system of a residential high-rise building [Naruzhnye ogra-zhdayushchie konstrukcii v sisteme vozduho-obmena zhilogo mnogoetazhnogo zdaniya] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. №. 1-1. Pp. 24–24. (rus)
4. Kaminskaya V.A., Percev A.N. Varieties, technical features and conditions of operation of supply devices [Raznovidnosti, tekhnicheskie osobennosti i usloviya eks-pluatacii pritochnyh ustrojstv]. *Zhilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura*. 2018. No. 4. Pp. 102–109. (rus)
5. Grahov V.P., Mohnachev S.A., Egorova V.G. Efficiency of energy-saving measures in housing construction [Effektivnost' energosberegayushchih mero-priyatij v zhilishchnom stroitel'stve] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015. №. 2. Pp. 273–273. (rus)
6. Gagarin V.G., Kozlov V.V. Prospects for improving the energy efficiency of residential buildings in Russia [Perspektivy povysheniya energeticheskoy effektivnosti zhi-lyh zdaniy v Rossii] *Vestnik MGSU*. 2011. №. 3-1. Pp. 192–200. (rus)
7. Livchak V.I. Baseline data for calculating the annual heat consumption of buildings in Russia [Iskhodnye dannye dlya rascheta godovogo teplopotrebleniya zdaniy v Rossii] *AVOK*. 2015. No. 5. Pp. 66–70. (rus)
8. Levchenya A.M., Kirillov A.I., Smirnov E.M. Numerical simulation of a separated flow in an annular aseradial diffuser [Chislennoe modelirovanie otryvnogo teche-niya v kol'cevom oseradial'nom diffuzore. *Nauchno-tekhnicheskie vedomosti SPbPU. Este-stvennye i inzhenernye nauki*]. 2017. No. 4. Pp. 172–180. (rus)
9. Spalart P., Allmaras S. A one-equation turbulence model for aerodynamic flows. 30th aerospace sciences meeting and exhibit. Seattle, 1992. 439 p.
10. Kostuganov A.B., Vytchikov Yu.S. Air quality in civilian buildings: the state of the problem and solutions [Kachestvo vozduha pomeshchenij grazhdanskih zdaniy: so-stoyanie problemy i puti resheniya]. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture. Stroitel'nye tekhnologii: sbornik statej*. 2016. Pp. 309–313. (rus)
11. Averkin A.G., Ivashchenko N.Yu. On the issue of improving the system of natural ventilation in residential buildings [K voprosu sovershenstvovaniya sistemy estestvennoj ven-tilyacii v zhilyh zdaniyah]. *Obrazovanie i nauka v sovremennom mire. Innovacii*. 2018. No. 1. Pp. 164–172. (rus)
12. Simbirev O.V., Zhilina T.S. Analysis of air movement processes and its parameters in natural ventilation systems with the help of mathematical modeling [Analiz processov dvizheniya vozduha i ego parametrov v sistemah estestvennoj ventilyacii pri pomoshchi matematicheskogo modelirovaniya]. *Vestnik ISH DVFU*. 2018. No. 3. Pp. 112–117. (rus)
13. Guidelines for ventilation requirements in buildings. Bruxelles: Commission of European Communities. Luxembourg, 1992. 44 p.
14. Lobanov D.V., SHichkin V.V. Accounting for a set of parameters in assessing the state of a micro-climate in a room. Housing and Communal Infrastructure [Uchet kompleksa parametrov pri ocenke sostoyaniya mikro-klimata v pomeshchenii]. *Zhilishchnoe hozyajstvo i kommunal'naya infrastruktura*. 2017. No. 4. Pp. 70–75. (rus)
15. Vardoulakis S. et al. Impact of climate change on the domestic indoor environment and associated health risks in the UK. *Environment International*. 2015. Pp. 299–313.
16. Montazeri H., Azizian R. Experimental study on natural ventilation performance of one-sided wind catcher. *Building and Environment*. 2008. № 12. Pp. 2193–2202.
17. Bodrov M.V., Kuzin V.Yu., Morozov M.S. Shapoval A.F. Justification of the boundaries of the use of natural ventilation systems of apartment buildings for the Nizhny Novgorod region [Obosnovanie granic primeneniya estestvennyh sistem ventilyacii mnogokvartirnyh zhilyh domov dlya Nizhegorodskoj oblasti]. *Privolzhskij nauchnyj zhurnal*. 2016. No. 1. Pp. 65–71. (rus)
18. Bodrov M.V., Kuzin V.Yu., Morozov M.S. The influence of the choice of window units on the energy efficiency indicators of the thermal circuit and the air regime of low-rise residential buildings [Vliyanie vybora okonnyh blokov na pokazateli energeticheskoy effektivnosti teplovogo kontura i vozдушnyj rezhim maloetazhnyh zhilyh zdaniy]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo*. 2017. No. 6. Pp. 24–26. (rus)
19. Barbolini F., Cappellacci P., Guardigli L. A design strategy to reach nZEB standards integrating energy efficiency measures and passive energy use. *Energy Procedia*. 2017. Pp. 205–214.

*Information about the authors*

**Simbirev, Oleg V.** Postgraduate student. E-mail: simbirevov@gmail.com. Tyumen Industrial University. Russia, 625000, Tyumen, st. Volodarsky, 38.

---

*Received in August 2019*

**Для цитирования:**

Симбирев О.В. Анализ распределения воздушных потоков в жилых комнатах с приточными подоконными клапанами при помощи математического моделирования в ANSYS FLUENT // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 10. С. 67–73. DOI: 10.34031/article\_5db3dd4c28ecd1.47038631

**For citation:**

Simbirev O.V. Analysis of air flow distribution in residential rooms with supply window valves by mathematical modeling in ANSYS FLUENT. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2019. No. 10. Pp. 67–73. DOI: 10.34031/article\_5db3dd4c28ecd1.47038631