

DOI:10.34031/2618-7183-2020-3-4-39-47

*Ильина Т.Н. \*, доктор технических наук, профессор,  
Колесников М.С.,  
Крюков И.В., кандидат технических наук, старший преподаватель,  
Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Россия*  
\*Ответственный автор E-mail: ilina50@rambler.ru

## **О КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ, ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В ПОМЕЩЕНИЯХ ТОРГОВЫХ ЦЕНТРОВ**

**Аннотация:** в статье рассматривается способ создания параметров микроклимата в помещениях торговых центров, спортивных комплексов и т.п. На примере помещения торгового зала показана возможность использования комплексной системы, включающей воздушное отопление, вентиляцию и кондиционирование воздуха. Для повышения эффективности работы системы предлагается традиционное водяное отопление заменить на воздушное, которое работает за счет использования газовой горелки-теплообменника. Для помещений торгового центра в г. Санкт-Петербурге произведен теплотехнический расчет наружных ограждений, определена тепловая мощность системы отопления. По результатам теплового и воздушного баланса продуктовой торговой зоны рассчитана производительность системы вентиляции и кондиционирования. Подобрана автономная моноблочная установка для обработки воздуха. В холодный период установка выполняет функции воздушного отопления и вентиляции. Для экономии тепловой энергии предусмотрена рециркуляция воздуха. Рассчитано количество наружного и рециркуляционного воздуха. В теплый период охлаждение и осушение воздуха осуществляется за счет использования холодильного компрессионного цикла. Предлагаемая комплексная система создания требуемых параметров микроклимата позволяет снизить материальные затраты благодаря использованию газовой горелки-теплообменника вместо теплового пункта водяного отопления, а также применения более дешевого источника энергии и утилизации тепла за счет теплового насоса.

**Ключевые слова:** отопление, вентиляция, кондиционирование воздуха, приточная установка, газовый воздухонагреватель, чиллер, тепловой насос

### **Введение**

В России с каждым годом появляется все большее количество торговых центров. Создание необходимых параметров микроклимата в современных торговых центрах является одной из важнейших задач, для решения которой, как правило, применяются традиционная система водяного отопления, а также система вентиляции и кондиционирования.

Способов создания требуемых параметров микроклимата, конечно же, очень много. Всегда следует учитывать конкретные условия, чтобы подобрать наилучшее решение, как по экономическим затратам на оборудование и работы, так и по выполнению монтажных работ. В любом случае, заказчик всегда хочет получить лучший вариант при наименьших расходах.

### **Методы и материалы**

Объектом исследования является двухэтажный торговый центр, имеющий большое количество внутренних помещений различной площади и назначения. К каждому из этих помещений предъявляются соответствующие требования к параметрам микроклимата. В качестве примера рассмотрим помещение продуктовой торговой зоны, которое находится на первом этаже здания. В данном случае, для достижения требуемых параметров внутреннего воздуха необходимо использовать центральную систему кондиционирования воздуха в комплексе с системой воздушного отопления. Фрагмент плана инженерных систем первого этажа изображен на рис. 1.

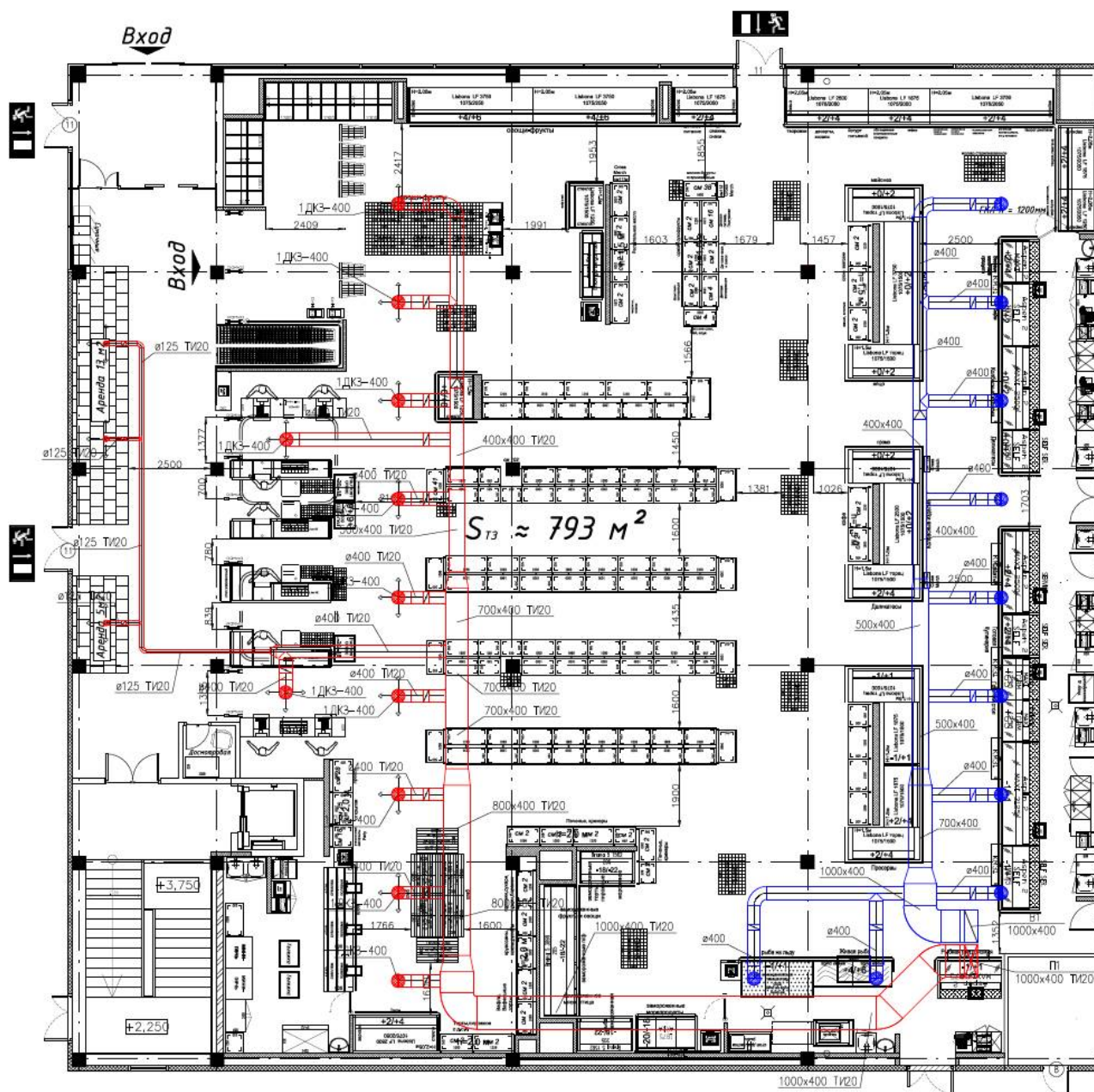


Рис. 1. Фрагмент плана инженерных систем помещений торговой зоны  
Fig. 1. Fragment of the plan of engineering systems of the rooms of the shopping area

Известно, что подготовка воздуха включает в себя такие системы, как система водяного отопления, вентиляции и кондиционирования. Для нагревания воздуха в системах отопления и вентиляции, как правило, используются водяные теплообменники. Система отопления, в большинстве случаев, включает в себя собственную котельную. Для транспортировки теплоносителя по всем этажам и помещениям здания предусмотрена система трубопроводов, а также имеется система трубопроводов для транспортировки теплоносителя к теплообменникам приточных установок. Горячий теплоноситель из котельной поступает в нагревательные приборы (радиаторы, конвекторы). Для нагревания воздуха в холодный период также применяют, в основном, водяные теплообменники. Подача и распределение воздуха осуществляется системами приточных и вытяжных воздуховодов.

По такому принципу работает схема систем создания микроклимата в рассматриваемом торговом центре. Для повышения энергоэффективности всех систем нами [1] предлагается новый метод создания требуемых параметров микроклимата. В основе данного способа лежит система воздушного отопления. Применение данного метода отопления, как правило, ограничивается необходимостью использования горячей воды, подаваемой из котельной для нагревания приточного воздуха [2]. Исследованию способов создания

требуемых параметров микроклимата посвящено достаточно работ [3-5], направленных на выбор энерго-сберегающих источников энергии. В настоящей работе рассмотрен перспективный способ использования газа в качестве источника тепловой энергии непосредственно в теплообменнике.

Теплообменник такого типа [6, 7] представляет собой изогнутую трубу из специального сплава, к которой подается газ и которая оборудована запальным устройством. Наружный воздух, проходя через теплообменник, омывает его внешнюю поверхность стенки, за счет чего он и нагревается. При этом продукты сгорания не смешиваются с приточным воздухом, и дымоудаление происходит через отдельный дымоход (рис. 2). Данный теплообменник представляет собой горелку закрытого типа.

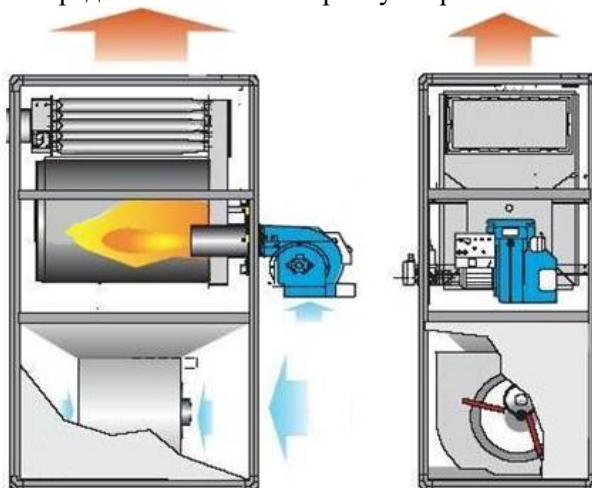


Рис. 2. Воздухонагреватели с применением горелки закрытого типа  
Fig. 2. Air heaters with the use of a closed type burner

Применение представленного теплообменника позволяет снизить эксплуатационные расходы на теплоноситель, увеличить эффективность системы, а также оперативно регулировать температуру приточного воздуха с учетом изменения температуры наружного воздуха. Это, в свою очередь, дает возможность экономии, за счет того, что можно поддерживать дежурную температуру в помещениях в ночное время, или когда в помещениях практически никого нет.

В результате сравнения схем можно сделать вывод, что число систем стало меньше, а значит, и все материальные расходы, также сокращаются.

Главным различием между новым методом и существующим считается то, что необходимо подавать газ напрямую к приточной установке. В случае, когда заказчик планирует монтаж собственной котельной, проблем с подведением газа не возникает. Стоит отметить, что прокладка труб с горячей водой значительно дороже, нежели подводка газопровода. За исключением, где вблизи планируемому объекту уже находится горячая вода.

При использовании данного метода отопления, возможно его применение в отоплении, вентиляции и кондиционировании помещений, имеющих различные параметры внутреннего воздуха и назначение. Такой способ, в основном, характерен для помещений значительного объема, таких как торговые центры, склады, заводы и т.д.

### Результаты и обсуждения

Так как исследуемое помещение торгового центра имеет равномерное распределение тепло- и влаговывделений, то для него характерно применение центральной установки кондиционирования воздуха, а также использование рециркуляции воздуха и утилизации тепла [5]. Для данного помещения был произведен теплотехнический расчет наружных ограждающих конструкций. На основании данного расчета были получены теплотери, которые составили 11 кВт. Также были рассчитаны влагопоступления в помещение, явные и полные поступления теплоты от людей, источников искусственного освещения, солнечной радиации, остывающей пищи и от технологического оборудования. Необходимый воздухообмен был принят по избыткам полной теплоты  $G_{н.т.} = \frac{\Delta Q_{избыт}}{(t_p - t_{вн})} = 6700 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Расход воздуха на рециркуляцию составил  $2780 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

На основании этих расчетов мы выбрали автономную моноблочную установку для обработки воздуха модели CF-GAS/P (рис. 3).



Рис. 3. Автономная моноблочная установка для обработки воздуха  
Fig. 3. Autonomous monoblock unit for air treatment

В состав данной установки входят элементы, позволяющие производить комплексную обработку воздуха, а именно нагревание, охлаждение, фильтрация и устранение избыточной влажности воздуха в помещениях торгового центра. Процесс охлаждения воздуха совершается в 2-х независимых друг от друга холодильных контурах с использованием механического компрессора при непосредственном расширении хладагента, а также, исключая применение промежуточного хладоносителя. С целью уменьшения расходов, а также быстрого получения результатов, для нагрева воздуха применяются 2 различные системы: 1 – тепловой насос; 2 – непосредственный контакт с высокоэффективным теплообменником. При температуре наружного воздуха  $t_n \geq +5^\circ\text{C}$  работа происходит в режиме теплового насоса, а при  $t_n < +5^\circ\text{C}$  совершается автоматическое включение высокоэффективных газовых горелок, выполненных из высокопрочной нержавеющей стали. Следует отметить, что для повышения энергоэффективности систем создания микроклимата нужно применять наиболее дешевые и возобновляемые источники энергии с использованием тепловых насосов [12-14].

За счет применения метода непосредственного контакта теплообменных сред при воздушном отоплении становится возможным уменьшить затраты на установку, снизить эксплуатационные расходы. Специфика данного способа состоит в непосредственной передаче вырабатываемого тепла обогреваемому помещению, что гарантирует высокий КПД. Располагается данная установка на крыше здания.

Для визуализации процесса подачи и распределения воздуха в программе SolidWorks была построена модель воздушных потоков для теплого и холодного периодов года в торговом зале при переходе на воздушное отопление помещения. Для замыкания уравнений движения, осредненных по Рейнольдсу, используется «стандартная»  $k-\epsilon$  модель турбулентности.

Размеры расчетной области 12000x9000x3700 мм (рис. 4). Тип решаемой задачи выбирался «внешняя». Начальные условия давления и температуры воздуха в расчетной области численной модели задавались равными 101325 Па и 20 °С соответственно (рис. 5).

В качестве граничных условий для приточного воздуха ставится условие «объемный расход на входе» с учетом температуры приточного воздуха, значение которого получены путем решения уравнений баланса расхода воздуха. Для пола, потолка и элементов системы вентиляции задавалось граничное условие «непроницаемая стенка». Рассматриваемая задача решалась в стационарной постановке. Результаты численного моделирования представлены на рис. 6 и 7.

На рис. 6 и 7 наглядно показаны результаты расчетов. Исходя из них, следует, что подобранная установка для обработки воздуха обеспечивает равномерное распределение температуры внутреннего воздуха в помещении торговой зоны. Также показано распределение скоростей воздушного потока внутри помещения для теплого и холодного периода года. Следует отметить, что для холодного периода с учетом разности плотностей теплого приточного воздуха и воздуха внутри помещения более теплый воздух поднимается вверх. Для увеличения дальности теплой приточной струи с целью увеличить прогрев внутреннего воздуха рекомендуется уменьшить диаметр воздуховода.



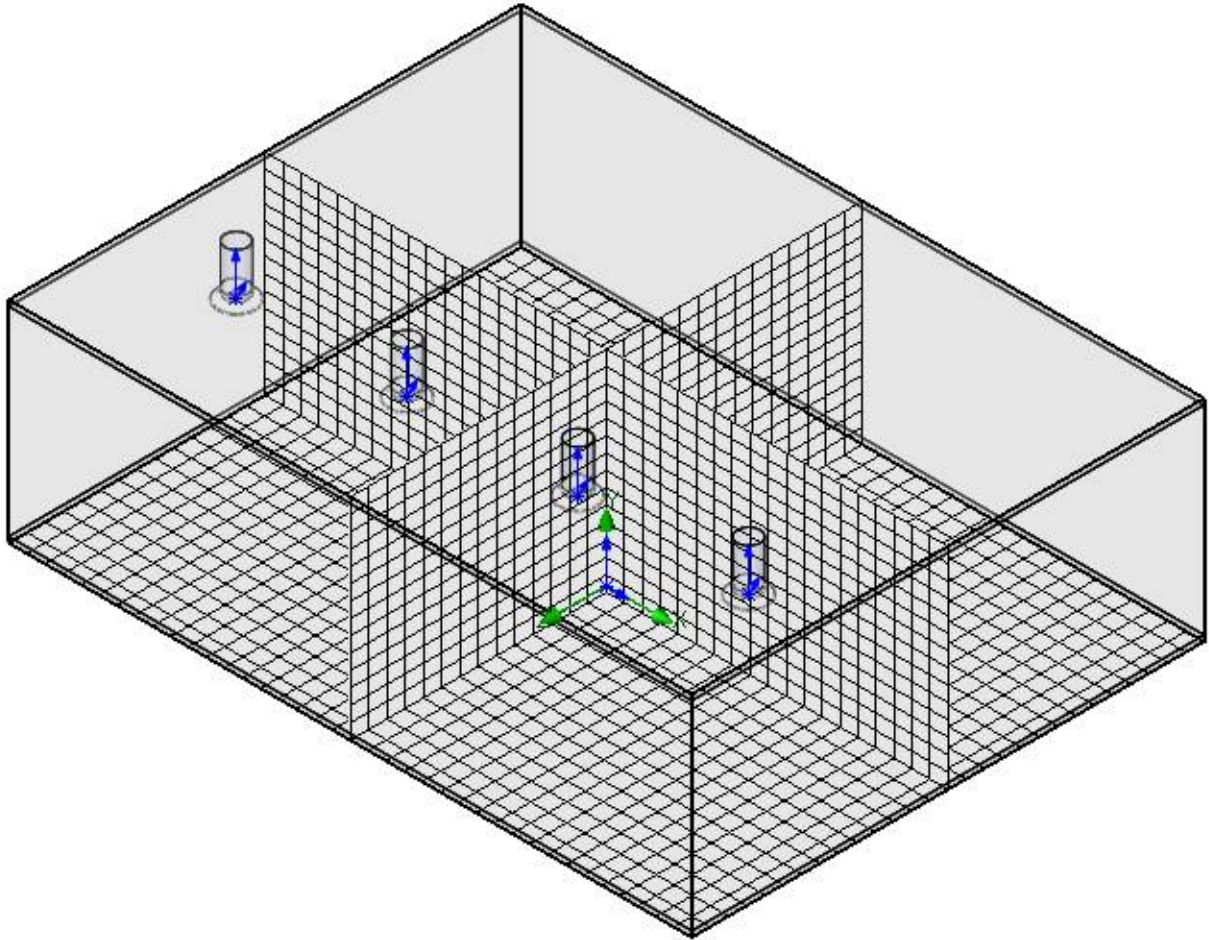


Рис. 4. Расчетная область  
Fig. 4. Computational domain

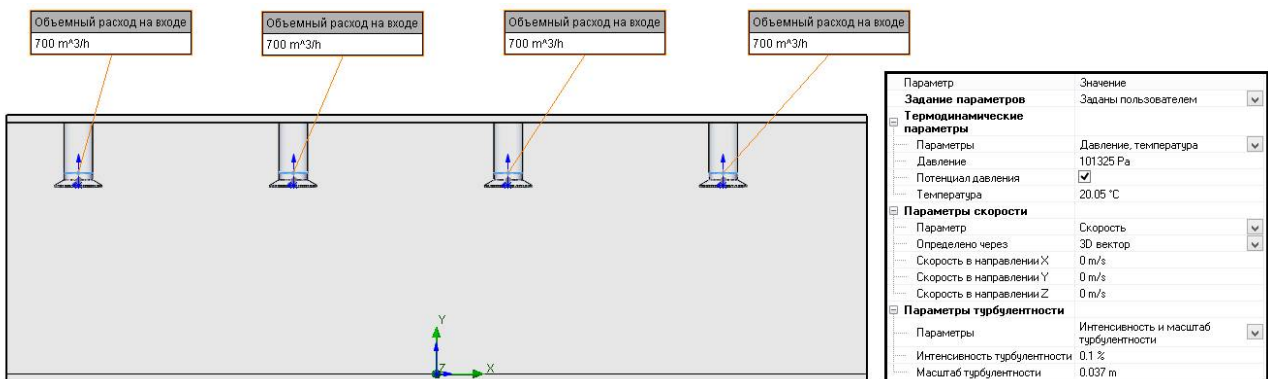


Рис. 5. Начальные и граничные условия  
Fig. 5. Initial and boundary conditions

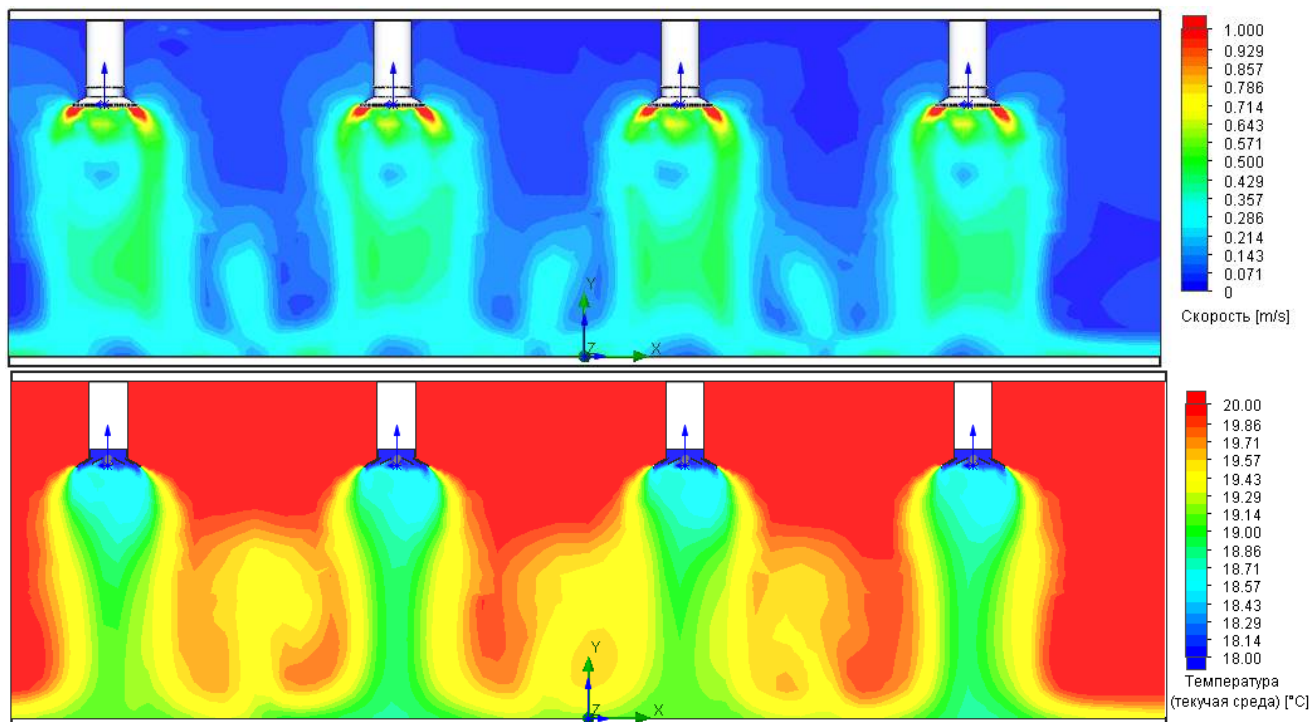


Рис. 6. Модель распределения скорости и температуры воздушных потоков в теплый период года  
Fig. 6. Model of air flow velocity and temperature distribution in the warm period of the year

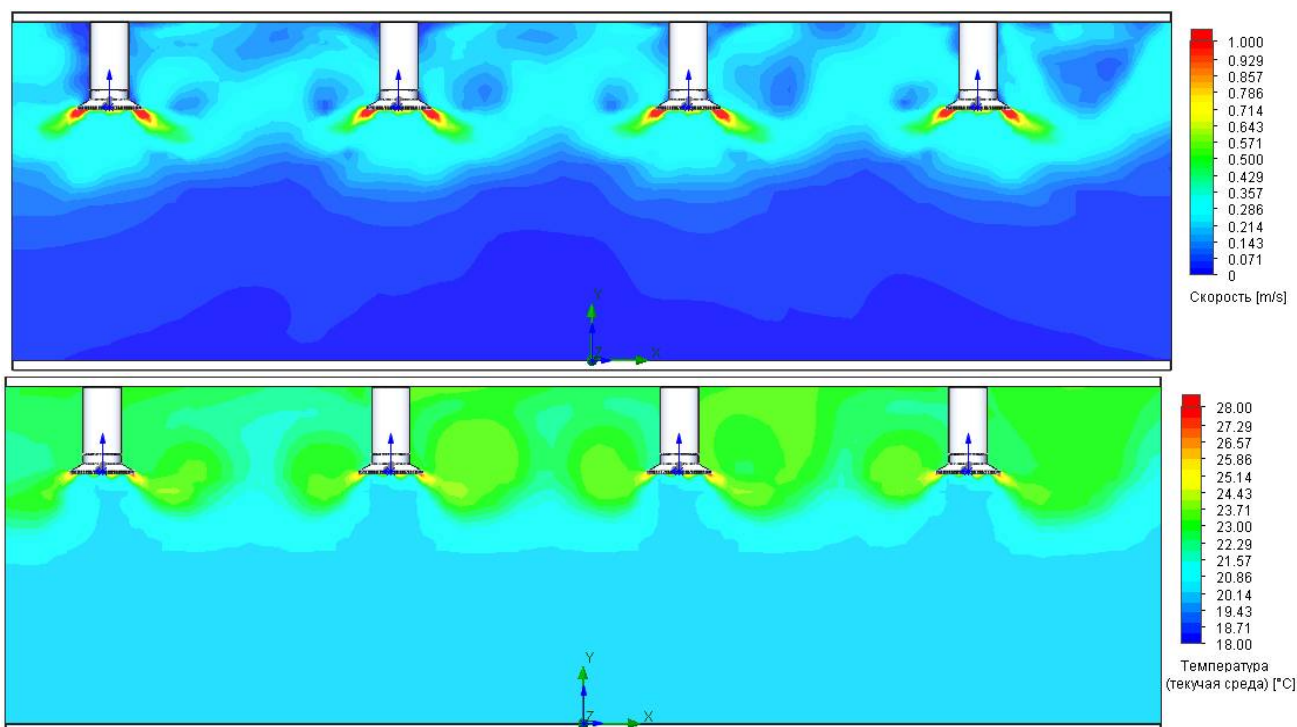


Рис. 7. Модель распределения скорости и температуры воздушных потоков в холодный период года  
Fig. 7. Model of air flow velocity and temperature distribution during the cold period of the year

В целом, газовый воздухоподогреватель является более дорогим с точки зрения капитальных затрат, по сравнению с подобной установкой, использующей горячую воду для нагрева воздуха. Однако его стоимость будет, однозначно, ниже, чем затраты на котельную + водяной калорифер (приточную установку) такой же тепловой мощности, не считая затрат на трубопроводы системы отопления и радиаторы (конвекторы). В итоге, общая экономия получается более 50%. Также, за счет использования газа в качестве источника тепловой энергии получаем ежегодную экономию.

Помимо этого, можно сравнить реальный КПД системы водяного отопления с центральным тепловым пунктом и КПД системы с применением газовых воздухоподогревателей. Для обычных европейских газовых теплогенераторов максимальный КПД в 90-94% достигается при работе на уровне 60-70% от максимальной тепловой мощности [15].

Аналогично, если рассмотреть современную автономную котельную, для которой можно исключить КПД теплообменника теплового пункта, мы получим, что  $\text{КПД системы} = \text{КПД котла} \times \text{КПД теплотрассы} \times \text{КПД водяного калорифера (радиатора)} \approx 69\%$  – это идеальное значение (для наилучших условий без учета износа оборудования и старых теплотрасс).

### Выводы

Существует множество технических решений инженерных систем создания микроклимата, которые могут сэкономить капитальные затраты объекта строительства. На современных объектах, как правило, используются новейшие разработки систем создания микроклимата. Однако существуют такие объекты, где требуется реконструкция и усовершенствование существующих систем, что позволит получить экономический эффект.

Следует отметить, что в настоящее время основой улучшения систем отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха являются повышение надежности и энергоэффективности работы оборудования, снижение материальных затрат на их работу. И, как показано в данной работе, основное условие для решения данных вопросов – подбор современного оборудования систем отопления, вентиляции и кондиционирования и последующее его усовершенствование.

### Литература

1. Колесников М.С., Ильина Т.Н. Инновационные способы создания микроклимата в помещениях значительного объема // Альманах мировой науки. 2020. № 1 (37). Наука, образование, общество: тенденции и перспективы. С. 86 – 89.
2. Рубцов А.С. Повышение энергоэффективности инженерных систем торгово-развлекательных центров // АВОК. 2012. № 8.
3. Nag P.K. (2019) Ventilation in Office Buildings. In: Office Buildings. Design Science and Innovation. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2577-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2577-9_12)
4. Anis W. (2016). Air barrier systems in buildings. Whole Building Design Guide. [www.wbdg.org/resources/air-barrier-systems-buildings](http://www.wbdg.org/resources/air-barrier-systems-buildings)
5. Omer A.M. Renewable building energy systems and passive human comfort solutions // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. № 12 (6). P. 1562 – 1587.
6. Новиков В.Т. Оборудование и основы проектирования систем охраны окружающей среды: в 2-х ч.: учебное пособие. Томск, ТПУ, 2010. 200 с.
7. Системы отопления – современные решения // АВОК. 2016. № 1.
8. Tomasi R., Krajčik M., Simone A. & Olesen B.W. Experimental evaluation of air distribution in mechanically ventilated residential rooms: Thermal comfort and ventilation effectiveness // Energy and Buildings. 2013. № 60. P. 28 – 37.
9. Y. Ding Y. Song H. Hui and C. Shao, Integration of Air Conditioning and Heating Into Modern Power Systems, Singapore:Springer, 2019.
10. Averkova O.A., Logachev K.I., Gritskevich M.S., Logachev A.K. Ventilation of Aerosol in a Thin-Walled Suction Funnel with Incoming Flow. Part 2. Dynamics of Dust Particles // Refractories and Industrial Ceramics. 2017. Vol. 58. Issue 3. P. 343 – 347.
11. Averkova O.A., Kryukov I.V., Logachev I.N., Logachev K.I. Analytical and Experimental Study of the Air Recirculation in a Loading Porous Tube with a Combined Bypass Chamber // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. Vol. 90. Issue 2. P. 318 – 328.
12. Сериков С.В., Ильина Т.Н. Утилизация тепла уходящих газов котельной установки в системе воздушного отопления // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2013. № 4. С. 53 – 55.
13. Ильина Т.Н., Бельмаз Д.Н. Анализ и способы утилизации вторичных энергоресурсов нефтеперерабатывающего предприятия // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2014. № 3. С. 170 – 173.

14. Ильина Т.Н., Мухамедов Р.Ю., Веревкин О.В. Перспективы использования тепловых насосов в системах отопления малоэтажных жилых домов Белгородской области // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2009. № 3. С. 142 – 146.

15. Лосев Д. Газовые воздухонагреватели – газовые секции нагрева в приточных установках [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://losevonline.ru/files/4/gasahu.pdf>

### References

1. Kolesnikov M.S., Il'ina T.N. Innovacionnye sposoby sozdaniya mikroklimata v pomeshcheniyah znachitel'nogo ob'ema. Al'manah mirovoj nauki. 2020. 1 (37). Nauka, obrazovanie, obshchestvo: tendencii i perspektivy. P. 86 – 89. (rus.)

2. Rubcov A.S. Povyshenie energoeffektivnosti inzhenernyh sistem torgovo-razvlekatel'nyh centrov. AVOK. 2012. 8. (rus.)

3. Nag P.K. (2019) Ventilation in Office Buildings. In: Office Buildings. Design Science and Innovation. Springer, Singapore. [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2577-9\\_12](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2577-9_12)

4. Anis W. (2016). Air barrier systems in buildings. Whole Building Design Guide. [www.wbdg.org/resources/air-barrier-systems-buildings](http://www.wbdg.org/resources/air-barrier-systems-buildings)

5. Omer A.M. Renewable building energy systems and passive human comfort solutions. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2008. 2 (6). P. 1562 – 1587.

6. Novikov V.T. Oborudovanie i osnovy proektirovaniya sistem ohrany okruzhayushchej sredy: v 2-h ch.: uchebnoe posobie. Tomsk, TPU, 2010. 200 p. (rus.)

7. Sistemy otopeniya – sovremennye resheniya. AVOK. 2016. 1. (rus.)

8. Tomasi R., Krajčík M., Simone A. & Olesen B.W. Experimental evaluation of air distribution in mechanically ventilated residential rooms: Thermal comfort and ventilation effectiveness. Energy and Buildings. 2013. № 60. P. 28 – 37.

9. Y. Ding Y. Song H. Hui and C. Shao, Integration of Air Conditioning and Heating Into Modern Power Systems, Singapore:Springer, 2019.

10. Averkova O.A., Logachev K.I., Gritskevich M.S., Logachev A.K. Ventilation of Aerosol in a Thin-Walled Suction Funnel with Incoming Flow. Part 2. Dynamics of Dust Particles. Refractories and Industrial Ceramics. 2017. 58 (3). P. 343 – 347.

11. Averkova O.A., Kryukov I.V., Logachev I.N., Logachev K.I. Analytical and Experimental Study of the Air Recirculation in a Loading Porous Tube with a Combined Bypass Chamber. Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2017. 90 (2). P. 318 – 328.

12. Serikov S.V., Il'ina T.N. Utilizaciya tepla uhodyashchih gazov kotel'noj ustanovki v sisteme vozdušnogo otopeniya. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2013. 4. P. 53 – 55. (rus.)

13. Il'ina T.N., Bel'maz D.N. Analiz i sposoby utilizacii vtorichnyh energoresursov neftepererabatyvayushchego predpriyatiya. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2014. 3. P. 170 – 173. (rus.)

14. Il'ina T.N., Muhamedov R.YU., Verevkin O.V. Perspektivy ispol'zovaniya teplovyh nasosov v sistemah otopeniya maloetazhnyh zhilyh domov Belgorodskoj oblasti. Vestnik BGTU im. V.G. SHuhova. 2009. 3. P. 142 – 146. (rus.)

15. Losev D. Gazovye vozduhonagrevateli – gazovye sekcii nagreva v pritochnykh ustanovkakh [Elektronnyj resurs]./ Rezhim dostupa: <https://losevonline.ru/files/4/gasahu.pdf> (rus.)



**Ilina T.N.** \*, *Doctor of Engineering Sciences (Advanced Doctor), Professor, Kolesnikov M.S., Kryukov I.V.*, *Candidate of Engineering Sciences (Ph.D.), Senior Lecturer, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Russia*  
\*Corresponding author E-mail: ilina50@rambler.ru

## ON INTEGRATED HEATING, VENTILATION AND AIR CONDITIONING SYSTEMS IN ROOMS OF SHOPPING CENTERS

**Abstract:** the paper considers a method for creating microclimate parameters in the rooms of shopping centers, sports complexes, etc. The possibility of using a complex system including air heating, ventilation and air conditioning is shown on the example of a shopping hall. To improve the efficiency of the system, it is proposed to replace traditional water heating with air heating, which works by using a gas burner-heat exchanger. For the rooms of a shopping center in the city of Saint Petersburg, the thermal engineering calculation of external fences was performed, and the heat capacity of the heating system was determined. Based on the results of the heat and air balance of the grocery shopping area, the performance of the ventilation and air conditioning system is calculated. An autonomous monoblock unit for air treatment was selected. During the cold period, the unit performs the functions of air heating and ventilation. Air recirculation is provided to save heat energy. The amount of outdoor and recirculating air is calculated. During the warm period, air is cooled and dehumidified by using a compression refrigeration cycle. The proposed integrated system for creating the required parameters of the microclimate allows reducing material costs by using a gas burner-heat exchanger instead of a heat point for water heating, as well as using a cheaper energy source and heat recovery through a heat pump.

**Keywords:** heating, ventilation, air conditioning, air-supply unit, gas-fired air heater, chiller, heat pump

**Для цитирования:** Ильина Т.Н., Колесников М.С., Крюков И.В. О комплексных системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха в помещениях торговых центров // Строительные материалы и изделия. 2020. Том 3. № 4. С. 39 – 47. DOI:10.34031/2618-7183-2020-3-4-39-47

**For citation:** Ilina T.N., Kolesnikov M.S., Kryukov I.V. On integrated heating, ventilation and air conditioning systems in the rooms of shopping centers. Construction Materials and Products. 2020. 3 (4). P. 39 – 47. DOI:10.34031/2618-7183-2020-3-4-39-47

Поступила в редакцию 2 июня 2020 г.

Принята в доработанном виде 21 июля 2020 г.

Одобрена для публикации 18 августа 2020 г.

Received: June 2, 2020.

Revised: July 21, 2020.

Accepted: August 18, 2020.