УДК 697.142

DOI 10.23968/1999-5571-2021-18-2-150-157

© В. М. Уляшева, д-р техн. наук, профессор

© V. M. Ulyasheva, Dr. Sci. Tech., Professor

© Д. Г. Михайлова, магистрант

© D. G. Mikhailova, undergraduate

(Санкт-Петербургский государственный

(Saint Petersburg State University

архитектурно-строительный университет,

of Architecture and Civil Engineering,

Санкт-Петербург, Россия)

St. Petersburg, Russia)

E-mail: ulyashevavm@mail.ru, dashamih2009@mail.ru

E-mail: ulyashevavm@mail.ru, dashamih2009@mail.ru

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОКЛИМАТА РЕСТОРАННОГО ЗАЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ VRF-СИСТЕМЫ

NUMERICAL RESEARCH OF THE MICROCLIMATE IN THE RESTAURANT HALL USING A VRF-SYSTEM

Рассмотрены особенности формирования микроклимата ресторанный зала при использовании приточно-вытяжной вентиляции и внутренних блоков мультизональной VRF-системы. Построены расчетные сетки с учетом особенностей конфигурации элементов систем обеспечения микроклимата. В гидродинамическом пакете STAR-CCM+ выполнено численное моделирование тепловоздушного режима для различных вариантов размещения и конфигурации устройств VRF-системы. Выявлены наиболее целесообразные способы устройства системы обеспечения микроклимата с применением двух типов внутренних блоков. Представлен анализ результатов исследования на соответствие параметров микроклимата нормативным требованиям.

Ключевые слова: ресторанный зал, микроклимат, кондиционирование воздуха, численное моделирование.

The features of the microclimate formation in the restaurant hall are considered when using inflow exhaust ventilation and indoor units of the multi-zone VRF system. Calculation model grids are constructed taking into account the configuration features of the microclimate systems' elements. Numerical simulation of the thermal-air regime is performed in the STAR-CCM+ hydrodynamic package for various placement options and configurations of VRF-system devices. The most appropriate ways of the microclimate system arrangement with the use of two types of indoor units are identified. The analysis of the study results on the compliance of the microclimate parameters with the regulatory requirements is presented.

Keywords: restaurant hall, microclimate, air conditioning, numerical simulation.

Обеспечение микроклимата предприятий общественного питания — одна из наиболее сложных составляющих проектов систем обеспечения микроклимата, в первую очередь это касается систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Перед системами вентиляции и кондиционирования воздуха стоит ряд специфических задач¹, нехарактерных для систем, обслуживающих помещения любого другого назначения.

Ресторанные залы характеризуются большими тепло- и влаговыведениями от посетителей, обслуживающего персонала и остывающей пищи. Наполняемость зала зависит от графика работы помещения, который соответствует естественному циклу приема пищи человеком.

Климатические параметры в обеденном зале определяют уровень комфорта предприятия и влияют на экономические показатели [1].

Здание санаторно-курортного комплекса — ранее усадьба Строгановых — историко-

¹ СП 118.13330.2011. Общественные здания и сооружения. Введ. 2013–01–01. М.: Минрегион России, 2012. 82 с.

архитектурный памятник XVIII–XIX вв., расположенный в деревне Волишово Псковской области. Самые ранние сведения, которые сохранились об усадьбе, относятся к 1784 году [2].

Согласно проекту реставрации объекта, в главном здании располагается три ресторанных зала, для которых предусмотрено использование системы кондиционирования типа VRF и приточно-вытяжной механической системы вентиляции.

Объектом исследования микроклимата в теплый период года является помещение ресторана (рис. 1), рассчитанного на 36 посадочных мест и обслуживающий персонал (2 официанта). Зал располагается на первом этаже с северо-восточной ориентацией фасада. Общая площадь помещения составляет 81,8 м², а его высота — 3,5 м (с учетом подшивного потолка 0,3 м, где располагаются инженерные коммуникации, в том числе системы вентиляции и кондиционирования воздуха).

В настоящее время VRF-системы завоевывают популярность на рынке оборудования мультizonальных систем кондиционирования [3–7]. Системы с переменным расходом хладагента выгодно отличаются тем, что способны эффективно обслуживать группу помещений, в которых существуют значительные тепловыделения, имеющие нестационарный характер. Неравномерные поступления избыточной теплоты в течение дня ассимилируются внутренними блоками, которые могут иметь различную конфигурацию (настенные, кассетные и т. д.) и холодопроизводительность.

Цель исследования — обоснование выбора наиболее рациональной схемы кондиционирования воздуха ресторана, обеспечивающей нормативные требования. В процессе исследования выполнено сравнение результатов численного моделирования с использованием двух типов внутренних блоков, обеспечивающих обработку рециркуляционного воздуха, а именно: блоков фирмы Hisense настенного серии AVS (рис. 1, а) и кассетного типа серии AVC (рис. 1, б), отличающихся способом подачи обработанного воздуха.

В теплый период года избытки явной теплоты составляют 3,54 кВт, а поступления влаги — 5,3 кг/ч. Система вентиляции обеспечивает требуемый воздухообмен в помещении в коли-

честве 840 м³/ч, исходя из нормы подачи наружного воздуха на человека². В качестве приточных устройств системы вентиляции приняты потолочные диффузоры 4АПН. Нагрузка охлаждения компенсируется частично системой VRF. Расход воздуха в режиме рециркуляции для одного блока составляет 660 м³/ч, при этом температура притока равна $t_{\text{п}} = 21,0$ °С.

Расчетные параметры воздуха в обслуживаемой зоне помещения³:

- температура воздуха 25 °С;
- относительная влажность воздуха 30–60 %;
- скорость воздуха не более 0,15 м/с.

Исследование микроклимата ресторана выполнено с помощью гидродинамического пакета STAR-CCM+, который основан на использовании методов численного решения исходной системы дифференциальных трехмерных уравнений Навье–Стокса [8–10].

Использованию численного моделирования для изучения тепловоздушных процессов в помещениях различного назначения посвящено значительное количество публикаций отечественных и зарубежных авторов, в частности [11–13]. Численное моделирование осуществлено на основе расчетной сетки [14], представленной гексаэдрами общей численностью 2,2 млн ячеек. Базовый размер ячейки составляет 0,100 м, а измельчение сетки выполнено вблизи приточных отверстий и в направлении распространения струй (рис. 2). Также сгущение сетки произведено в непосредственной близости к поверхностям, где происходит выделение теплоты, влаги и углекислого газа. Для расчета применена модель турбулентности k - ϵ , преимущества которой — получение достаточно точных результатов для струйных и свободных течений. Этот фактор, несомненно, важен не только с позиции требований отечественных нормативных документов, но и принципов оценки состояния микроклимата в зарубежных публикациях, в частности [15].

Результаты численного моделирования представлены в виде полей распределения параметров воздуха (рис. 3–6). Оценка эффективности

² СП 60.13330.2016. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Отопление, вентиляция и кондиционирование. Введ. 2017-06-17. М.: Минрегион России, 2017. 81 с.

³ ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Введ. 2013-01-01. М.: Стандартинформ, 2013. 12 с.

Рис. 1. Ресторанный зал с размещенным оборудованием и посетителями: а — с блоками фирмы Hisense настенного типа серии AVS; б — с блоками фирмы Hisense кассетного типа серии AVC; 1 — посетитель; 2 — официант; 3 — внутренний блок; 4 — приточное устройство; 5 — вытяжная решетка; 6 — стеклопакет

Рис. 2. Построение расчетных сеток для настенного (а) и кассетного (б) внутренних блоков

применения различных внутренних блоков выполнена на основе анализа средних значений параметров микроклимата в обслуживаемой зоне, а также характера их распределения в плоскости на уровне 1,500 м.

Качество воздуха в помещении, учитывая величину концентрации углекислого газа (CO_2), можно отнести к допустимо низкому (класс 4) в соответствии с ГОСТ 30494–2011, так как среднее значение данного параметра в обслуживаемой зоне составляет в обоих случаях 1230 ppm (рис. 3).

Рис. 3. Концентрация углекислого газа на отм. 1,500 м: а — с блоками фирмы Hisense настенного типа серии AVS; б — с блоками фирмы Hisense кассетного типа серии AVC

Вариант 1 (рис. 4, а). Средняя температура воздуха в обслуживаемой зоне равна $25,5^{\circ}\text{C}$, что выше нормируемого значения на $0,5^{\circ}\text{C}$. Учитывая то, что температура распределена неравномерно, перепад температуры в различных точках помещения не превышает $1,0^{\circ}\text{C}^{2,3}$.

Вариант 2 (рис. 4, б). Температура воздуха в обслуживаемой зоне оказалась также выше нормируемого значения и составила $25,3^{\circ}\text{C}$. В большей части зала преобладает температура, близкая к нормируемой (25°C).

Сравнение температурных полей дает представление о том, что кассетные внутренние блоки более эффективно ассимилируют избытки теплоты в помещении.

По результатам расчета относительная влажность воздуха равна 60% , а ее колебания пренебрежимо малы. Распределение параметра в помещении равномерное, а полученные значения относительной влажности соответствуют нормируемому диапазону (рис. 5).

Вариант 1 (рис. 6, а). В обслуживаемой зоне наблюдаются значения скорости воздуха, превышающие допустимое ($0,2\text{ м/с}$). Локальное повышение подвижности воздуха составляет до $0,3\text{ м/с}$ в местах расположения посетителей ресторана.

Вариант 2 (рис. 6, б). Во всем помещении зала скорость движения воздуха принимает значения, меньшие нормируемой. Так как кассетные блоки создают веерную струю, настилающуюся

Рис. 4. Температурные поля на высоте 1,5 м от уровня пола: а — с блоками фирмы Hisense настенного типа серии AVS; б — с блоками фирмы Hisense кассетного типа серии AVC

на потолок, то повышенная подвижность воздуха формируется только у внутренних поверхностей.

Для наглядности полученные в результате численного моделирования значения сведены в таблицу.

В заключение отметим, что наиболее целесообразным вариантом при проектировании системы кондиционирования воздуха является использование кассетных внутренних блоков, исходя из более равномерного обеспечения комфортных условий воздушной среды для посетителей и обслуживающего персонала в помещении ресторанный зала.

Библиографический список

1. Жерлыкина М. Н., Кашенцева Н. В. К вопросу о холодоснабжении зданий гостинично-ресторанных комплексов // Научный вестник ВГАСУ. 2020. № 4-1 (60). С. 151–155.
2. Михайлова Д. Г. Особенности теплового режима здания санаторно-курортного комплекса / ФИЭИГХ: сб. ст. магистрантов. Вып. 2. СПб., 2020. С. 168–177.
3. Кокорин О. Я., Варфоломеев Ю. М. Системы и оборудование для создания микроклимата помещений / под общ. ред. проф. Ю. М. Варфоломеева. М.: ИНФРА-М, 2013. 273 с.
4. Сотников А. Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции. Т. II, ч. 1. СПб.: ООО «АТ», 2006. 416 с.

Рис. 5. Относительная влажность в сечении на отм. 1,500 м: а — с блоками фирмы Hisense настенного типа серии AVS; б — с блоками фирмы Hisense кассетного типа серии AVC

5. Сотников А. Г. Процессы, аппараты и системы кондиционирования воздуха и вентиляции: в 2 т. Т. II, ч. 2. СПб.: ООО «АТ», 2006. 416 с.

6. Брух С. В. VRF-системы кондиционирования воздуха. Особенности проектирования, монтажа, наладки, сервиса. М.: Компания БИС, 2017. 360 с.

7. VRF-системы кондиционирования // Холодильная техника. 2019. № 10. С. 18–25.

8. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. М.: Энергоатомиздат, 1984. 152 с.

9. Пейре Р., Тейлор Т. Д. Вычислительные методы в задачах механики жидкости. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 330 с.

10. Флетчер К. Вычислительные методы в динамике жидкостей. Т. I и II. М.: Мир, 1991. 504 с.

11. Примитлин А. М., Дацюк Т. А., Денисихина Д. М. Математическое моделирование в проекти-

ровании систем вентиляции и кондиционирования. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2013. 192 с.

12. Денисихина Д. М., Иванова Ю. В., Мокров В. В. Численное моделирование истечения из современных воздухораспределительных устройств // Инженерный вестник Дона. 2018. № 2 (49). URL: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2018/4972> (дата обращения: 12.04.2021).

13. Ulyasheva V. M. Use of numerical modelling to select rational scheme for air exchange // Сб. конф. «Энерго-ресурсо-эффективность в интересах устойчивого развития». Томск: Изд-во ТПУ, 2018. С. 51.

14. Денисихина Д. М. Использование программы STAR-CCM+ при проектировании систем вентиляции СПб.: СПбГАСУ, 2013. 68 с.

15. Ole Fanger P. Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей // АВОК. 2003. № 4. С. 12–21.

Рис. 6. Поле распределения скорости движения воздуха на отм. 1,500 м: а — с блоками фирмы Hisense настенного типа серии AVS; б — с блоками фирмы Hisense кассетного типа серии AVC

Анализ результатов моделирования микроклимата

Критерии	Настенный тип внутреннего блока		Кассетный тип внутреннего блока		Нормируемые значения с учетом СП 60.13330.2016 и ГОСТ 30494–2011
	Среднее значение	Максимальное*	Среднее значение	Максимальное*	
Концентрация CO ₂ , ppm	1226	1325	1222	1315	>1000
Относительная влажность, %	60,4	63,2	60,9	64,5	60 ± 7 %
Температура воздуха, °C	25,5	26,0	25,3	25,6	25 ± 2 °C
Скорость воздуха, м/с	0,18	0,57	0,15	0,36	0,18 ± 0,07 м/с

*Значения, которые отличаются в большую сторону относительно среднего в обслуживаемой зоне.

References

1. Zherlykina M. N., Kashentseva N. V. *K voprosu o kholodosnabzhenii zdaniy gostinichno-restorannykh kompleksov* [On the issue of refrigeration supply of

buildings of hotel and restaurant complexes]. *Nauchniy vestnik VGASU – Scientific Bulletin of VGASU*, 2020, no. 4-1 (60), pp. 151–155.

2. Mikhaylova D. G. *Osobennosti teplovogo rezhima zdaniya sanatorno-kurortnogo kompleksa* [Features of

the thermal regime of the building of the sanatorium-resort complex]. Faculty of environmental engineering and municipal services, coll. works by collection of undergraduates, iss. 2. St. Petersburg, 2020, pp. 168–177.

3. Kokorin O. Ya., Varfolomeev Yu. M. *Sistemy i oborudovanie dlya sozdaniya mikroklimata pomeshcheniy* [Systems and equipment for creating indoor microclimate]. Ed. by Varfolomeev Yu. M. Moscow, INFRA-M Publ., 2013, 273 p.

4. Sotnikov A. G. *Protsessy, apparaty i sistemy konditsionirovaniya vozdukha i ventilyatsii* [Processes, apparatuses and systems of air conditioning and ventilation]. Vol. II, pt. 1. St. Petersburg, OOO AT Publ., 2006, 416 p.

5. Sotnikov A. G. *Protsessy, apparaty i sistemy konditsionirovaniya vozdukha i ventilyatsii* [Processes, apparatuses and systems of air conditioning and ventilation]. Vol. II, pt. 2. St. Petersburg, OOO AT Publ., 2006, 416 p.

6. Brukh S. V. *VRF-sistemy konditsionirovaniya vozdukha. Osobennosti proektirovaniya, montazha, naladki, servisa* [VRF-air conditioning systems. Features of design, installation, commissioning, operation]. Moscow, Kompaniya BIS Publ., 2017, 360 p.

7. *VRF-sistemy konditsionirovaniya* [VRF-air conditioning systems]. *Kholodil'naya tekhnika – Refrigeration Equipment*, 2019, no. 10, pp. 18–25.

8. Patankar S. *Chislennyye metody resheniya zadach teploobmena i dinamiki zhidkosti* [Numerical methods for solving problems of heat transfer and fluid dynamics]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1984, 152 p.

9. Peyre R., Teylor T. D. *Vychislitel'nye metody v zadachakh mekhaniki zhidkosti* [Computational methods

in fluid mechanics problems]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1986, 330 p.

10. Fletcher K. *Vychislitel'nye metody v dinamike zhidkostey* [Computational methods in fluid dynamics]. Vol. I and II. Moscow, Mir Publ., 1991, 504 p.

11. Grititlin A. M., Datsyuk T. A., Denisikhina D. M. *Matematicheskoe modelirovanie v proektirovanii sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya* [Mathematical modeling in the design of ventilation and air conditioning systems]. St. Petersburg, AVOK Severo-Zapad Publ., 2013, 192 p.

12. Denisikhina D. M., Ivanova Yu. V., Mokrov V. V. *Chislennoe modelirovanie istecheniya iz sovremennykh vozdukhoraspredeletel'nykh ustroystv* [Numerical simulation of the outflow from modern air distribution devices]. *Inzhenerniy vestnik Dona – Engineering Bulletin of the Don*, 2018, no. 2 (49). Available at: <http://ivdon.ru/magazine/archive/n2y2018/4972> (accessed: 12.04.2021).

13. Ulyasheva V. M. *Use of numerical modeling to select rational scheme for air exchange*. Trudy konf. «Energo-resurso-effektivnost' v interesakh ustoychivogo razvitiya» [Proceedings of the conference “Energy-resource efficiency for sustainable development”]. Tomsk: TPU Publ., 2018, p. 51.

14. Denisikhina D. M. *Ispol'zovanie programmy STAR-CCM+ pri proektirovanii sistem ventilyatsii SPb* [The use of the STAR-CCM+ program in the design of ventilation systems St. Petersburg]. SPbGASU Publ., 2013, 68 p.

15. Ole Fanger P. *Kachestvo vnutrennego vozdukha v XXI veke: vliyanie na komfort, proizvoditel'nost' i zdorov'e lyudey* [The quality of indoor air in the XXI century: the impact on comfort, productivity and health of people]. AVOK, 2003, no. 4, pp. 12–21.