

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЗДАНИЙ. ПРОБЛЕМЫ ЖКК. ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ. БЕЗОПАСНОСТЬ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. ЭКОЛОГИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 697.911

DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.3

Комбинация рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах

Дмитрий Олегович Хлопицын, Андрей Георгиевич Рымаров
Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Один из наиболее распространенных способов экономии тепловой энергии и денежных средств — это применение рекуператорных установок в механических вентиляционных системах. Рассмотрен модернизированный воздушный рекуператор. Приведены особенности конструкции, схема расположения и алгоритм работы этого теплообменного устройства. Для увеличения выбора типа и конструкций воздушных теплообменников проектировщикам предложен и описан вариант спроектированного комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством из помещения, который в процессе работы будет одной из версий устройства, повышающего коэффициент полезного действия (КПД) в механических системах вентиляции. Рекуператор — незаменимый элемент для современных уникальных зданий и сооружений.

Материалы и методы. Рекуператор предлагается как аналог существующих и относится к области энергосбережения в системах механической вентиляции.

Результаты. Повышение КПД по сравнению с аналогами осуществляется за счет: использования рекуператора как совмещенного вытяжного воздухоприемного устройства из помещения, увеличения площади соприкосновения теплоносителей, особой внутренней конструкции, способной к более равномерной теплопередаче, нетиповой схемы расположения рекуператорной установки для избежания обмерзания и «оттайки» конденсата у теплопередающей поверхности. Поток нагрева приточного воздуха через совмещенный рекуператор с вытяжным воздухоприемным устройством из помещения в системе механической вентиляции регулируется автоматикой для поддержания более комфортной температуры подачи в помещение.

Выводы. Новая конструкция приобретает повышенный КПД по сравнению с аналогами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: рекуператор, вытяжное воздухоприемное устройство, воздушный теплообменник, теплопередача, механическая система вентиляции

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Хлопицын Д.О., Рымаров А.Г. Комбинация рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах // Строительство: наука и образование. 2023. Т. 13. Вып. 3. Ст. 3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.3

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Олегович Хлопицын, dkhlopitsyn@mail.ru.

Combination of recuperator with exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems

Dmitrii O. Khlopitsyn, Andrey G. Rymarov
*Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation*

ABSTRACT

Introduction. One of the most common ways to save heat energy and money is the use of recuperator units in mechanical ventilation systems. In this article, we will talk about the modernized air recuperator. In the process the design feature, layout and operation algorithm of this heat exchanger device will be demonstrated. In order to increase the choice of type and designs of air heat exchangers, designers will be offered and described the variant of designed combined recuperator with an exhaust air intake device from the room, which in the process will be one of the versions of the device increasing

the efficiency factor in mechanical ventilation systems. The recuperator is an indispensable element for modern unique buildings and structures.

Materials and methods. The recuperator is proposed as an analogue of existing ones and belongs to the field of energy saving in mechanical ventilation systems.

Results. The efficiency increase in comparison with analogues is carried out due to: the use of the recuperator as a combined exhaust air intake unit from the room, an increase in the area of contact of heat carriers, a special internal structure capable of more uniform heat transfer, an atypical arrangement of the recuperator installation to avoid freezing and "defrosting" of condensate at the heat transfer surface. The heating flow of the supply air through the combined recuperator with the exhaust air intake device from the room in the mechanical ventilation system is regulated by automation to maintain a more comfortable supply temperature in the room.

Conclusions. The new design acquires an increased efficiency compared to its analogues.

KEYWORDS: recuperator, exhaust air intake device, air heat exchanger, heat transfer, mechanical ventilation system

FOR CITATION: Khlopitsyn D.O., Rymarov A.G. Combination of recuperator with exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Construction: Science and Education]. 2023; 13(3):3. URL: <http://nso-journal.ru>. DOI: 10.22227/2305-5502.2023.3.3

Corresponding author: Dmitrii O. Khlopitsyn, dkhlopitsyn@mail.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Ведущие инженерные компании, связанные с вентиляционным оборудованием, стараются разрабатывать технологии, алгоритмы работы и произвести модернизацию известных устройств для обеспечения комфортного микроклимата в помещении. Создание оптимальных параметров работы, невысокая цена, окупаемость в течение времени — критерии, по которым происходит борьба за первенство на рынке вентиляционного оборудования.

Рекуператор — это устройство, нацеленное на передачу тепловой энергии от более нагретого к менее нагретому теплоносителю через разделенную теплопередающую стенку. На сегодняшний день специалисты в области систем вентиляции и теплообмена пытаются добиться в своих рекуператорах высокого коэффициента полезного действия (КПД), используя модификацию теплопередающей поверхности и конструкции теплообменного аппарата. При грамотном проектировании данных установок можно значительно повысить эффективность системы механической вентиляции. Приоритетными задачами являются экономия денежных средств на их приобретение, легкость при эксплуатации и срок окупаемости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В статье предложен аналог, созданный на базе трубчатого теплообменника, отличающийся:

- конструкцией от имеющихся в настоящее время;
- комбинацией рекуператора как вытяжного устройства из помещения;
- нетиповой схемой расположения рекуператора.

В данном исследовании речь будет идти о проектом решении рекуператорной установки или теплообменника, работающего на теплоносителях воздуха.

Технический результат работы — повышение КПД при помощи:

- комбинации рекуператора как вытяжного устройства из помещения, тем самым возможно уве-

личить поверхность теплообмена, не влияя на эстетические габариты системы вентиляции на объекте;

- фигурирования рекуператора как второй ступени подогрева;
- нетиповой схемы расположения;
- вида теплопередающего материала;
- оребрения теплопередающей поверхности;
- увеличения площади теплопередающей поверхности за счет расположения вытяжных воздуховодов с приточными воздуховодами, объединенными в общий круглый воздуховод (короб);
- автоматизации работы системы вентиляции.

Для максимального энергосбережения тепловой энергии была спроектирована и смоделирована установка, позволяющая добиться высокого КПД путем представления рекуператора как вытяжного устройства для удаления тепловых избытков, вредностей или поддержания оптимального воздухообмена в многообразных помещениях. Особенность конструкции заключается в том, что рекуператор играет роль трассы воздуховода и вытяжного устройства одновременно, воздуховоды вытяжной и приточной системы объединены в один круглый воздуховод (короб). Во внутренней области короба (внешний воздуховод круглого сечения) проходит приточный воздух, поступающий из нагревателя, который выступает первой ступенью подогрева в механической системе вентиляции, в процессе чего удаляемый воздух передает тепло приточному воздуху через теплопередающие трубки. Приточный воздух обтекает оребренные вытяжные трубки и сборный коллектор удаляемого воздуха. Ребра приняты для увеличения площади контакта теплоносителей. Акцент, который принимается на температуру 5 °С до захода приточного воздуха в комбинированный рекуператор, делается для того, чтобы:

- устранить обмерзание теплопередающей поверхности в рекуператоре, что всегда бывает, если один из теплоносителей имеет отрицательную температуру;
- устранить «оттайку» рекуператора, когда отключается приточный воздух и теплообменник про-

пускает через себя только вытяжной воздух, что занимает много времени;

- поддержать стабильный и высокий КПД установки, так как не будет обмерзания теплопередающей поверхности.

Все усовершенствования, принятые в комбинированном рекуператоре, главным образом влияют на коэффициент теплоотдачи как со стороны приточного, так и со стороны удаляемого воздуха [1–5]. Система механической вентиляции, работающая как одно целое с комбинированной рекуператорной установкой, управляется автоматически для достижения более стабильной температуры приточного воздуха после рекуператора. В данном решении не обойтись без автоматизации, поскольку нельзя предсказать процесс выделения тепла в помещении. Это предполагает колебание температуры входа удаляемого воздуха (с помощью вытяжных труб забора воздуха) на протяжении работы системы механической вентиляции.

Движение теплоносителей в комбинированном рекуператоре с вытяжным воздухоприемным устройством присутствует как противоточное, так и перекрестное, что позволяет заявить о смешанном процессе потоков теплоносителей. Трубки круглой формы, спроектированные в рекуператоре, дают возможность приточному воздуху проходить с большим обтеканием поверхности, а ребра — дополнительно увеличить площадь, в результате чего повышается эффективность работы рекуператора [6–21]. С помощью такого решения можно использовать все плюсы противоточного и перекрестного дви-

жения потоков. Если рассматривать период работы системы механической вентиляции, то комбинированная рекуператорная установка входит в группу непрерывного действия, так как тепло передается от более нагретого воздуха к менее нагретому через разделенную теплопередающую поверхность на протяжении всей стадии работы механической вентиляционной системы. Для демонстрации рекуператорной установки представлена принципиальная схема и внутренняя конструкция (рис. 1–4).

Состав установки (рис. 1–4):

- 1 — нагреватель;
- 2 — приточный вентилятор;
- 3 — вытяжной вентилятор;
- 4 — приточный воздуховод;
- 5 — дроссель-клапан;
- 6 — комбинированный рекуператор с вытяжным воздухоприемным устройством;
- 7 — датчик температуры;
- 8 — приточное воздухораспределительное устройство;
- 9 — вытяжное отверстие;
- 10 — вытяжная трубка;
- 11 — вытяжной коллектор;
- 12 — вытяжной воздуховод;
- 13 — удаляемый воздух;
- 14 — приточный воздух;
- 15 — ребро коллектора;
- 16 — ребро вытяжной трубки;
- 17 — автоматический щит управления;
- 18 — помещение.

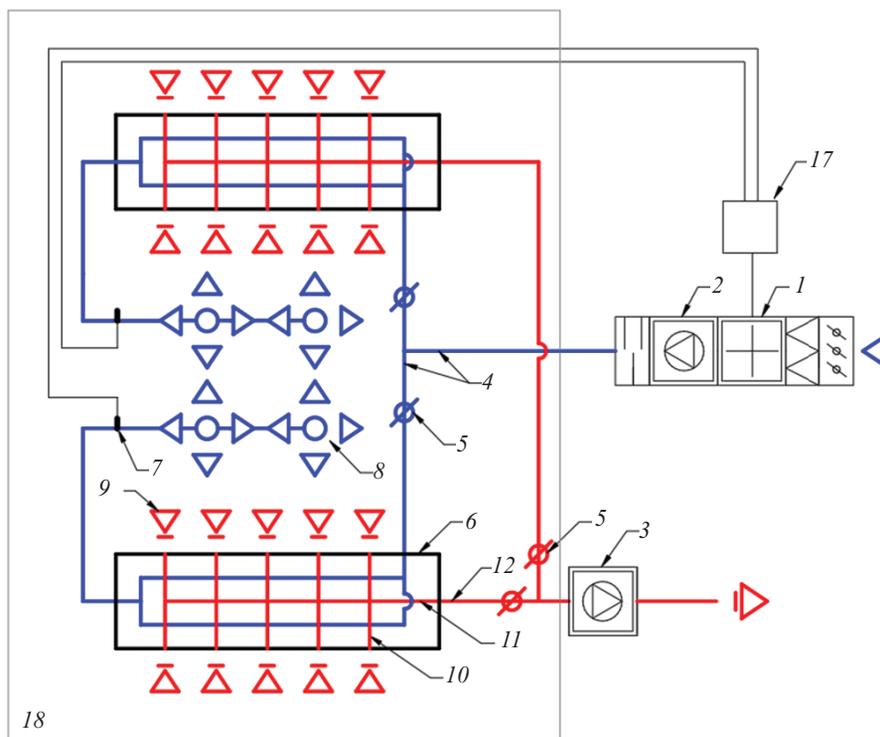


Рис. 1. Принципиальная схема комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах

Рассмотрим алгоритм работы комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством, позволяющий повысить эффективность функционирования системы вентиляции в холодный и переходный периоды года.

Приточный воздух 14 подается через нагреватель 1 и имеет температуру перед приточным вентилятором 2 не менее 5 °С. Это условие должно выполняться для избежания «оттайки» конденсата на теплопередающей поверхности, что может способствовать, если температура приточного воздуха будет отрицательной, отключению приточной механической системы вентиляции. После чего приточный воздух 14 нагнетается по воздуховодам 4 и проходит через дроссель-клапан 5 для увязки ветвей системы. Далее приточный воздух поступает в комбинированный рекуператор с вытяжным воздухоприемным устройством 6, где происходит догрев свежего воздуха, в процессе чего воздух, выходящий из данного узла, проходит через датчик температуры 7, который анализирует необходимую температуру и с помощью автоматики 17 подает сигнал на нагреватель 1, который в свою очередь корректирует нагрев первой ступени. В итоге приточный воздух 14 поступает в помещение из приточного воздухораспределительного устройства 8 в помещение 18.

Вентилятор 3 забирает удаляемый воздух 13 из помещения 18, он поступает в вытяжное отверстие 9 забора воздуха, где движется по вытяжным трубкам 10. Затем вытяжной воздух 13 из вытяжных трубок 10 с поперечным оребрением 16 со стороны приточного воздуха 14 поступает в сборный вытяжной коллектор 11 с продольным оребрением 15 со стороны приточного воздуха 14. В результате чего удаляемый воздух 13 поступает в вытяжной воздухопровод 12, где установлен дроссель-клапан 5 для выравнивания давления между двумя ветками. В конце системы вытяжной воздух 13 удаляется в окружающую среду.

Удаление конденсата, образующегося на вытяжных трубках (теплопередающей поверхности) между удаляемым воздухом 13 и приточным воздухом 14, производится в дренажную систему.

Тепловой перенос энергии от более нагретого (удаляемого) воздуха 13 к менее нагретому (приточному) 14 воздуху передается через теплопередающую поверхность, спроектированную в форме трубок 10 с поперечными ребрами 16 и общего сборного коллектора 11 с продольными ребрами 15. Принятие данного решения позволяет увеличить коэффициент эффективности рекуператора в системе механической вентиляции [22–25].

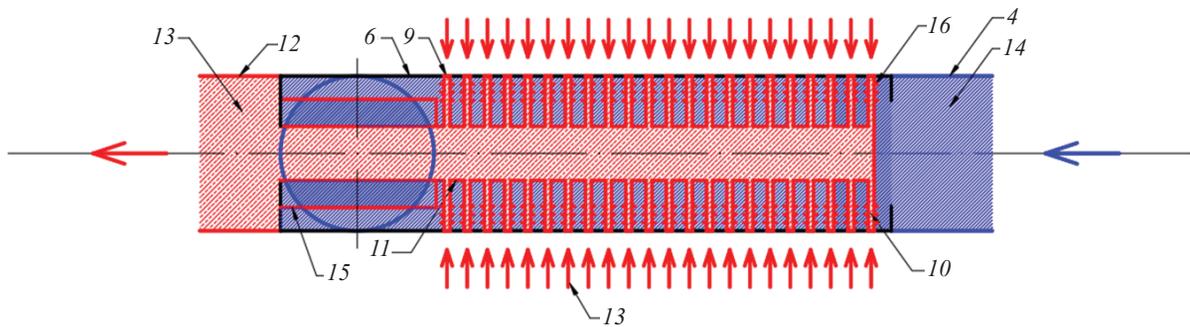


Рис. 2. Продольное сечение комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах

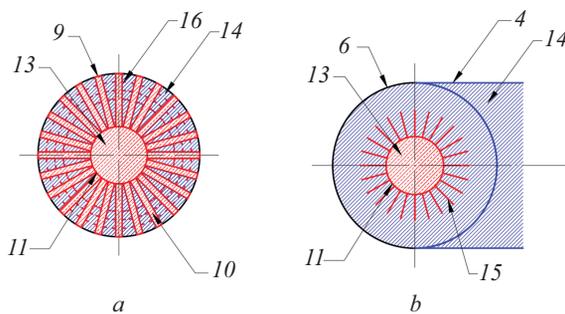


Рис. 3. Поперечное сечение комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в месте подключения: а — вытяжных трубок к сборному коллектору; б — приточного воздуховода

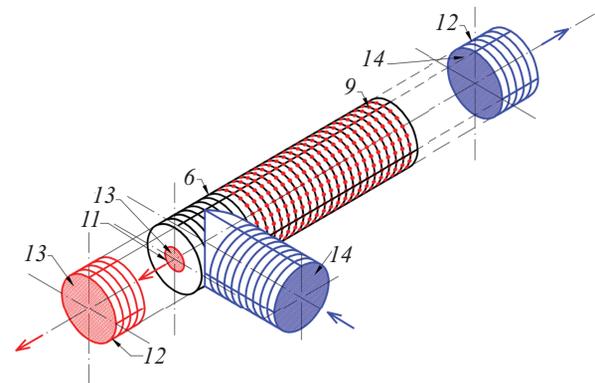


Рис. 4. Аксонометрия комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Положительные стороны использования комбинированного рекуператора:

1. Сокращение тепловых затрат. Нагревание приточного воздуха в нагревателе происходит до температуры 5 °С и выше. Нагреватель играет роль первой степени нагревания в механической системе вентиляции. Процесс догрева приточного воздуха происходит в комбинированном рекуператоре с вытяжным воздухоприемным устройством, что подразумевает вторую степень нагревания в механической вентиляционной системе.

2. Простота конструкции. Рекуператор не имеет движущих элементов, теплопередающие трубки с поперечными ребрами и сборный коллектор с продольными ребрами располагаются внутри внешнего воздуховода. Заводская сборка не требует максимальной категории инженеров, собирающих данный рекуператор. Комбинация рекуператора и вытяжного устройства объединяет два разных элемента, предполагающих уникальные функции в системе механической вентиляции.

3. Сокращение эксплуатационных затрат. При использовании рекуператора после нагревателя в системе механической вентиляции отсутствует обмерзание и последующая «оттайка» теплопередающей поверхности. Схема расположения комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механической вентиляционной системе позволяет обходиться без замены теплопередающих трубок или ремонта внутреннего, или внешнего состава установки, так как на всем протяжении работы в холодный и переходный периоды года средняя температура при осуществлении теплопереноса между удаляемым и приточным воздухом находится в плюсовом диапазоне. Техническому персоналу необходимо делать проверку один раз в год на предмет загрязнения и целостности теплопередающих трубок.

4. Эстетическая составляющая. Рекуператор играет роль вытяжного воздухоприемного устройства и трассы воздуховода одновременно, это позволяет располагать в нем большую площадь теплопередающей поверхности, что повышает интенсификацию теплопередачи.

5. Применение автоматики для контролирования и корректировки температуры. Щит автоматики при работе вкуче с датчиком температуры дает возможность контролировать и корректировать тепловую мощность в нагревателе. Главное правило — установка датчика температуры по потоку до и вблизи приточного устройства. Именно малое расстояние позволит максимально точно поддерживать температуру приточного воздуха, выходящего из воздухораспределительного устройства [26–29].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Комбинированный рекуператор с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах позволяет:

- экономить мощность нагревателя;

- исключить обледенение теплопередающей поверхности и процесс «оттайки» (отключения приточной системы вентиляции и работы только вытяжной системы вентиляции);

- уменьшить денежные затраты;

- повысить эффективность по сравнению с аналогами за счет увеличения площади теплопередающей поверхности при помощи нетиповой работы и схемы;

- объединить функционал двух независимых элементов — рекуператора и вытяжного устройства;

- добиться более быстрой окупаемости по сравнению с аналогами;

- выполнить монтаж и установку на объекте без каких-либо сложностей для инженеров и монтажников;

- осуществлять минимальный контроль эксплуатирующими организациями.

Основные требования для проектирования комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством с целью использования в механических системах вентиляции:

- расход приточного воздуха;

- расход удаляемого воздуха;

- параметры внутреннего воздуха;

- параметры входа приточного воздуха, температура воздуха не ниже 5 °С;

- параметры выхода приточного воздуха;

- параметры входа удаляемого воздуха;

- параметры выхода удаляемого воздуха;

- площадь теплопередающих трубок и вытяжного коллектора (поверхностей);

- материал и оребрение теплопередающих трубок и вытяжного коллектора (поверхностей).

Главные требования для эксплуатации комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством с целью использования в механических системах вентиляции:

- очистка теплопередающих трубок и вытяжного коллектора (поверхностей) для поддержания расчетной эффективности работы. Для увеличения диапазона очистки теплопередающих трубок у теплообменника возможно использовать в проекте фильтр «особо тонкой очистки»;

- оценка работы системы автоматики для поддержания температуры приточного воздуха.

Таким образом, специалистам в области систем вентиляции предложен вариант комбинированного рекуператора с вытяжным воздухоприемным устройством для использования в механических вентиляционных системах, который обладает весомыми плюсами по сравнению с аналогами. Данный теплообменный аппарат с автоматикой позволяет обеспечить более стабильные температурные параметры микроклимата в помещении в холодный и переходный периоды года

с учетом интенсификации теплообмена между вытяжным и приточным воздухом через теплопереда-

ющие трубки и коллектор, что способствует улучшенному энергосбережению.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. М. : Энергия, 1973. 319 с.
2. Быков Л.В., Молчанов А.М., Янышев Д.С. Основы вычислительного теплообмена и гидродинамики : учебное пособие. М. : URSS, 2019. 200 с.
3. Видин Ю.В. Инженерные методы расчета задач теплообмена. М. : Инфра-М, 2018. 166 с.
4. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача. М. : Высшая школа, 1975. 496 с.
5. Кудинов И.В. Математическое моделирование гидродинамики и теплообмена в движущихся жидкостях : монография. СПб. : Лань, 2015. 208 с.
6. Виноградов С.Н., Таранцев К.В., Виноградов О.С. Выбор и расчет теплообменников : учебное пособие. Пенза : Изд-во ПГУ, 2001. 100 с.
7. Жукаускас А.А. Конвективный перенос в теплообменниках. М. : Наука, 1982. 472 с.
8. Самарин О.Д., Яцына В.А. Исследование зависимости температурной эффективности пластинчатых рекуператоров от типоразмера вентиляционной установки // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2021. № 2 (230). С. 71–73. EDN NDMEZG.
9. Borowski M., Karch M., Kleszcz S., Sala P., Waryan G. An experimental and numerical investigation of the thermal and non-thermal efficiency for counterflow heat exchanger // E3S Web of Conferences. 2019. Vol. 128. P. 04008. DOI: 10.1051/e3s-conf/201912804008
10. Lamlerd B., Bubphachot B., Chompookham T. Experimental investigation of heat transfer characteristics of steam generator with circular-ring turbulators // Case Studies in Thermal Engineering. 2023. Vol. 41. P. 102549. DOI: 10.1016/j.csite.2022.102549
11. Белоногов Н.В., Пронин В.А. Оптимизация геометрических параметров перекрестно-точных пластинчатых рекуператоров // Вестник Международной академии холода. 2008. № 1. С. 21–23. EDN JXORYH.
12. Карапузова Н.Ю., Фокин В.М. Расчет теплообменных аппаратов: методические указания к курсовому и дипломному проектированию. Волгоград : Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. 67 с. EDN WABVMN.
13. Chompookham T., Chingtuaythong W., Chokphoemphun S. Influence of a novel serrated wire coil insert on thermal characteristics and air flow behavior in a tubular heat exchanger // International Journal of Thermal Sciences. 2022. Vol. 171. P. 107184. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107184
14. Рутковский А.Л., Макоева А.К., Коробкин Р.С. Использование рекуператора типа «труба в трубе» для возврата отходящих газов в вельц-печь барабанного типа // Наука и бизнес: пути развития. 2021. № 1 (115). С. 30–33. EDN EJDJJJ.
15. Kleszcz S., Jaszczur M., Pawela B. An analysis of the periodic counterflow heat exchanger for air-to-air heat recovery ventilators // Energy Reports. 2023. Vol. 9. Pp. 77–85. DOI: 10.1016/j.egy.2023.03.088
16. Вдовичев А.А. К вопросу определения температурной эффективности пластинчатых перекрестно-точных рекуператоров воздуха // Вестник Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 5. EDN XYXUEV.
17. Golijanek-Jędrzejczyk A., Mrowiec A., Kleszcz S., Hanus R., Zych M., Jaszczur M. A numerical and experimental analysis of multi-hole orifice in turbulent flow // Measurement. 2022. Vol. 193. P. 110910. DOI: 10.1016/j.measurement.2022.110910
18. Белоногов Н.В. Утилизация теплоты в перекрестно-точных пластинчатых рекуператорах // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2012. № 2 (122). С. 75–83. EDN RHWDYL.
19. Вдовичев А.А. Численное исследование теплопереноса и аэродинамики в перекрестно-точном рекуператоре открытого типа // Вестник Евразийской науки. 2022. Т. 14. № 2
20. Демидочкин В.В., Костуганов А.Б., Черчаев А.А. Определение теплотехнической эффективности пластинчатого теплоутилизатора // Вестник Оренбургского государственного университета. 2018. № 6 (218). С. 123–131. DOI: 10.25198/1814-6457-218-123. EDN HNFKOY.
21. Вдовичев А.А. Особенности численного моделирования пластинчатого перекрестно-точного рекуператора воздуха // Вестник Евразийской науки. 2021. № 5.
22. Краснов Ю.С. Монтаж систем промышленной вентиляции. М. : Стройиздат, 1983. 245 с.
23. Краснов Ю.С., Борисоглебская А.П., Антипов А.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Рекомендации по проектированию, испытаниям и наладке. М. : Термокул, 2006.
24. Самарин О.Д. Основы обеспечения микроклимата зданий : учебник. М. : АСВ, 2014. 203.
25. Каменев П.Н., Тертичник Е.И. Вентиляция : учебник. М. : АСВ, 2006.
26. Пачкин С.Г., Котляров Р.В., Шевцова Т.Г., Иванов П.П., Ли С.Р., Преснова А.С. Разработка автоматизированной системы управления приточно-вытяжной вентиляцией // Современные наукоемкие

технологии. 2022. № 1. С. 80–84. DOI: 10.17513/snt.39013. EDN CYYMBL.

27. Власенко О.М., Сорокин А.С., Абдулаев С.Х. Обогрев вентиляции при автоматизации производственных зданий легкой промышленности // Дизайн и технологии. 2015. № 50 (92). С. 70–77. EDN VXLCNT.

Поступила в редакцию 31 мая 2023 г.

Принята в доработанном виде 6 июня 2023 г.

Одобрена для публикации 23 июня 2023 г.

ОБ АВТОРАХ: Дмитрий Олегович Хлопицын — аспирант; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 1107240, Scopus: 57224204063, ORCID: 0009-0003-4988-3385; dkhlopitsyn@mail.ru;

Андрей Георгиевич Рымаров — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);** 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 665928, Scopus: 7801333552, ResearcherID: AFM-6219-2022, ORCID: 0000-0002-1901-1557; rymarov@yandex.ru.

Вклад авторов:

Хлопицын Д.О. — идея, сбор и обработка материала, написание статьи.

Рымаров А.Г. — научное руководство, научное редактирование текста, концепция исследования.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

INTRODUCTION

Leading engineering companies related to ventilation equipment try to develop technologies, algorithms of operation and modernize all known devices in the field of providing comfortable microclimate in the room. Work on creation of optimal parameters of work, not high price, payback within time — the criteria for which there is a struggle for supremacy in the market of ventilation equipment.

A recuperator is a device aimed at transferring heat energy from a more heated heat transfer medium to a less heated heat transfer medium through a separated heat transfer wall. Today, specialists in the field of ventilation and heat and mass transfer systems try to achieve high efficiency in their recuperators by modifying the heat transfer surface and the design of the heat exchanger itself. If these units are designed correctly, the efficiency of the mechanical ventilation system can be significantly increased. The priority is to save money on their purchase, ease of operation and payback over time.

MATERIALS AND METHODS

The paper proposes an analogue based on the tubular heat exchanger, but different:

- by design from those available today;
- combination of a recuperator as a room exhaust unit;
- not a typical recuperator layout.

In this article, we will talk about the design solution of a recuperator unit or simply a heat exchanger operating on the heat carrier air.

28. Halawa E., van Hoof J. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 51. Pp. 101–110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.04.011

29. Архипов Г.В. Автоматическое регулирование вентиляции и кондиционирования воздуха. Принципиальные технологические схемы систем автоматического регулирования. М.: Госэнергоиздат, 1961. С. 176.

The technical result of the work is to increase the efficiency factor with:

- the combination of the recuperator as a room exhaust unit, thus increasing the heat exchange surface without affecting the aesthetic dimensions of the ventilation system on site;
- the recuperator as a second heating stage;
- not a typical layout;
- the type of heat transfer material;
- finning of the heat transfer surface;
- increasing the heat transfer surface area due to the arrangement of exhaust ducts with supply ducts combined in a common circular duct (box);
- automation of the ventilation system.

In order to maximize the energy saving of thermal energy, an installation has been designed and modelled to achieve high efficiency by presenting the recuperator as an exhaust unit for removing thermal excesses, contaminants or maintaining optimal air exchange in a variety of rooms. The special feature of the design is that the recuperator plays the role of both a duct route and an exhaust unit at the same time, the ducts of the exhaust and supply system are combined into one circular duct (box). In the inner area of the box (outer circular duct) passes the supply air coming from the heater, which plays the role of the first stage of heating in the mechanical ventilation system, in the process of which the exhaust air transfers heat to the supply air through heat transfer tubes. This supply air flows around the finned exhaust tubes and the exhaust air collector. The fins are adopted to increase the contact area of the heat transfer media. Accent, which is taken at a tem-

perature of 5 °C before sunset supply air to the combined recuperator, is done in order to:

- eliminate freezing of the heat transfer surface in the recuperator, which always happens if one of the coolants has a negative temperature;
- eliminate heat exchanger «defrosts», when the supply air is turned off and the heat exchanger passes only exhaust air through itself, which takes a lot of time;
- maintain stable and high efficiency of the installation, since there will be no freezing of the heat transfer surface.

All improvements adopted in the combined recuperator mainly affect on the heat transfer coefficient from both the supply and exhaust air sides [1–5]. Mechanical ventilation system operating as one piece with a combined recuperator unit, controlled automatically to achieve more stable supply air temperature after the recuperator. There is no way around this solution without automation, since it is impossible to predict the process of heat release in the room. This involves fluctuating exhaust air inlet temperature (using exhaust air intake tubes) during operation of the mechanical ventilation system.

The movement of heat carriers in the combined recuperator with an exhaust air intake unit is both countercurrent and crosscurrent, which makes it possible to declare a mixed process of heat carrier flows. The circular tubes designed in this recuperator allow the supply air to pass with a large surface flow, and the fins allow an additional increase in the surface area, thus increasing the efficiency of the recuperator [6–21]. This solution makes it possible to use all the advan-

tages of countercurrent and crosscurrent. If we consider the period of operation of this mechanical ventilation system, the combined recuperator unit is part of the continuous group, as it allows heat transfer from more heated air to less heated air through a divided heat transfer surface throughout the entire stage of operation of the mechanical ventilation system. To demonstrate the recuperator unit, the circuit diagram and internal construction are shown in Fig. 1–4.

Composition:

- 1 — heater;
- 2 — supply fan;
- 3 — exhaust fan;
- 4 — supply air duct;
- 5 — throttle valve;
- 6 — combined recuperator with exhaust air intake device;

device;

- 7 — temperature sensor;
- 8 — supply air distribution unit;
- 9 — exhaust opening;
- 10 — exhaust tube;
- 11 — exhaust collector;
- 12 — exhaust duct;
- 13 — exhaust air;
- 14 — supply air;
- 15 — collector rib;
- 16 — rib of the extraction tube;
- 17 — automatic control panel;
- 18 — room.

Let us consider the algorithm of operation of the combined recuperator with the exhaust air intake device, which

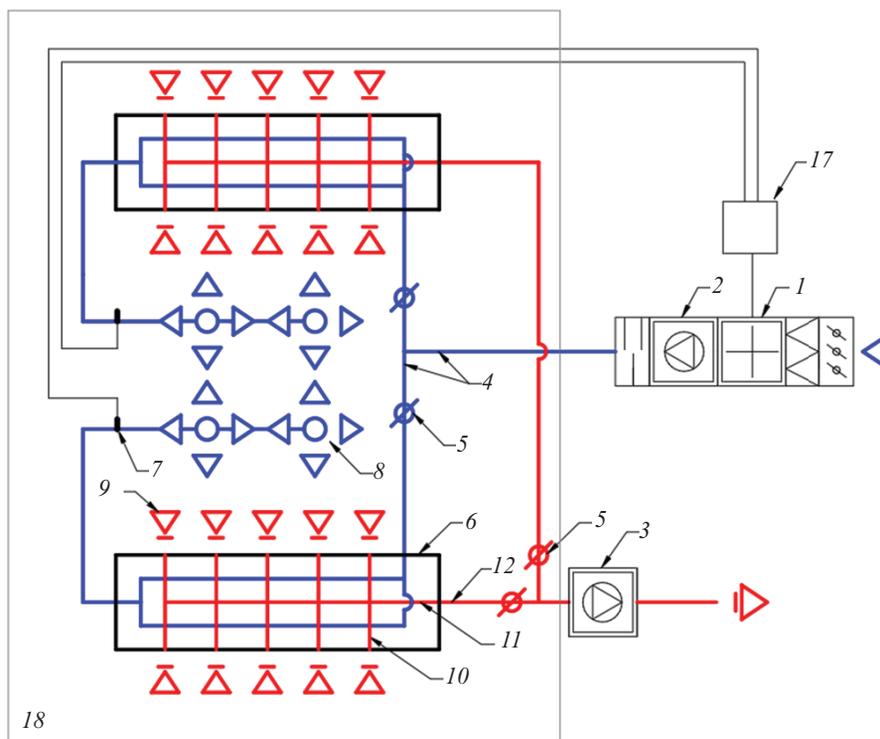


Fig. 1. Schematic diagram of a combined recuperator with an exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems

allows to increase the efficiency of the ventilation system in the cold and transitional periods of the year.

The supply air 14 is supplied through heater 1 and has a temperature in front of supply fan 2 of at least 5 °C. This condition must be carried out to avoid condensate “defrosting” on the heat transfer surface, which can exist if the supply air temperature will be negative, the air supply will be turned off mechanical ventilation system. After which the supply air 14 is pumped through the air ducts 4 and passes through the throttle valve 5 for linking the branches of the system. Next, the supply air enters a combined recuperator with an exhaust air intake device 6, where the fresh air is reheated, during which the air, leaving this node passes through the sensor temperature 7, which analyzes the required temperature and with the help of automation 17 supplies signal to heater 1, which in turn adjusts the heating of the first stage. As a result, supply air 14 enters the room from the supply air distribution device 8 to room 18.

The fan 3 draws the exhaust air 13 from the room 18 and enters the exhaust air intake opening 9, where it flows through the exhaust tubes 10. Further, the extract air 13 from the extract tubes 10 with transverse fins 16 on the supply air side 14 enters the exhaust collector 11 with longitudinal fins 15 on the supply air side 14. The exhaust air 13 then flows into the exhaust duct 12, where a throttle valve 5 is installed to equalize the pres-

sure between the two branches. At the end of the system, the exhaust air 13 is discharged into the environment.

Condensate formed on the exhaust tubes (heat transfer surface) between the exhaust air 13 and the supply air 14 is removed to the drainage system.

Thermal energy transfer from the more heated (exhaust) air 13 to the less heated (supply) air 14 is transferred through the heat transfer surface designed in the form of tubes 10 with transverse ribs 16 and a common collecting collector 11 with longitudinal ribs 15. Adoption of this solution allows increasing the recuperator efficiency coefficient in the mechanical ventilation system [22–25].

RESEARCH RESULTS

Positive aspects:

1. Reduction of heat costs. The supply air is heated in the heater to a temperature of 5 °C or more. The heater itself is the first heating stage in a mechanical ventilation system. The reheating of the supply air takes place in a combined recuperator with an exhaust air intake unit, which implies a second heating stage in the mechanical ventilation system.

2. Simplicity of design. The recuperator has no moving parts, the heat transfer tubes with transversal fins and the collector with longitudinal fins are located inside the external duct. The factory assembly does not require the maximum category of engineers assembling this recuperator. The combination of recuperator and

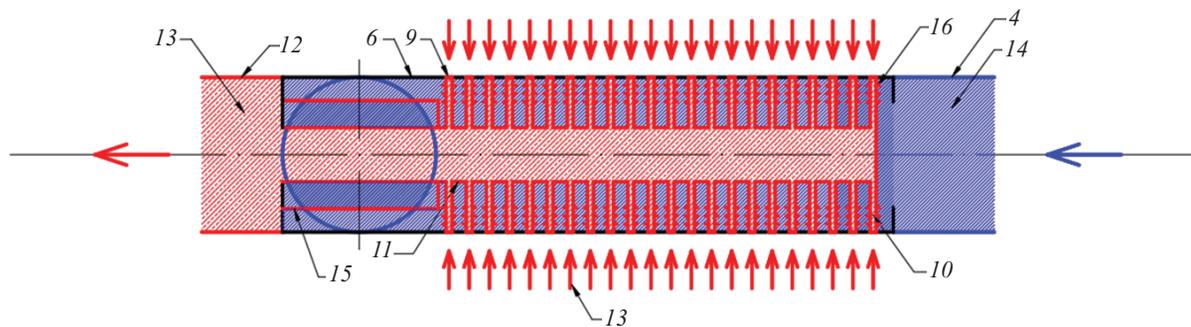


Fig. 2. Longitudinal section of a combined recuperator with an exhaust air intake for use in mechanical ventilation systems

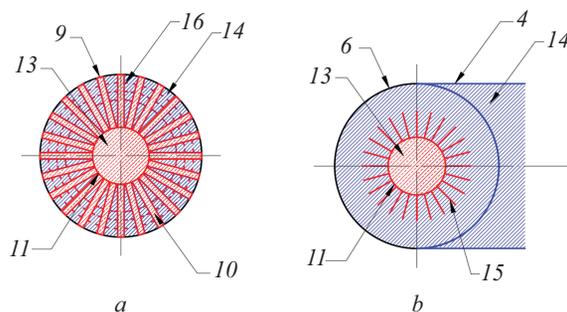


Fig. 3. Cross-section of a combined recuperator with an exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems at the connection point: *a* — exhaust tubes to the collector; *b* — supply duct

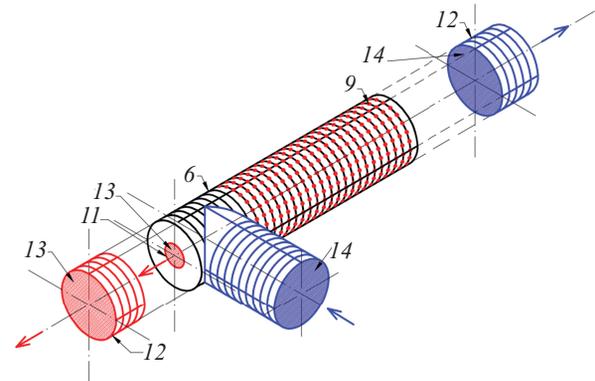


Fig. 4. Axonometric view of a combined recuperator with an exhaust air intake for use in mechanical ventilation systems

extractor combines two different elements with unique functions in a mechanical ventilation system.

3. Reduced operating costs. When the recuperator is used after the heater in a mechanical ventilation system, there is no freezing and subsequent “defrosting” of the heat transfer surface. This arrangement of the combined recuperator with exhaust air intake device for use in the mechanical ventilation system makes it possible to do without replacement of heat transfer tubes or repair of the internal or external composition of the unit, since throughout the operation in the cold and transitional periods of the year, the average temperature during the heat transfer between the exhaust and supply air is in the plus range. The maintenance staff should check once a year the effect of fouling and the integrity of the heat transfer tubes themselves.

4. Aesthetic component. The recuperator plays the role of an exhaust air intake unit and duct route simultaneously, which allows a large heat transfer surface area to be located in the recuperator, thus increasing the heat transfer intensification.

5. Use of automation to control and adjust the temperature. The automation panel, when working in conjunction with a temperature sensor, allows the heat output in the heater to be monitored and corrected. The main rule is to install the temperature sensor in the flow upstream and close to the supply unit. The small distance will allow to maintain the temperature of the supply air leaving the air distribution unit as accurately as possible [26–29].

CONCLUSION AND DISCUSSION

Combined recuperator with an exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems allows:

- save heater power;
- avoid icing of the heat transfer surface and the “defrosting” process (switching off the supply ventilation system and operating only the exhaust ventilation system);
- reduce explicit costs;
- increase the efficiency compared to analogues by increasing the heat transfer surface area using non-typical operation and circuitry;

- combine the functionality of two independent elements, recuperator and extractor;
- produce a faster payback compared to analogues;
- carry out assembly and installation on site without any difficulties for engineers and installers;
- carry out minimal control by the operating organizations.

Basic requirements for the design of a combined recuperator with exhaust air intake for use in mechanical ventilation systems:

- supply flow rate;
- exhaust air flow rate;
- indoor air parameters;
- supply air inlet parameters, air temperature at least 5 °C;
- supply air outlet parameters;
- parameters of the intake of the removed air;
- parameters of the exhaust air outlet;
- area of the heat transfer tubes and the exhaust collector (surfaces);
- material and finning of heat transfer tubes and exhaust collector (surfaces).

Basic requirements for the operation of a combined recuperator with exhaust air inlet for use in mechanical ventilation systems:

- cleaning of the heat transfer tubes and the exhaust collector (surfaces) to maintain the design efficiency. To increase the cleaning range of the heat transfer tubes at the heat exchanger, it is possible to use an “extra fine” filter in the project;
- evaluate the operation of the automation system to maintain the supply air temperature.

Thus, specialists in the field of ventilation systems are offered a variant of a combined recuperator with an exhaust air intake unit for use in mechanical ventilation systems, which has significant advantages compared to analogues. This heat exchanger with automation makes it possible to provide more stable temperature parameters of the indoor microclimate during cold and transitional periods of the year, taking into account the intensification of heat exchange between exhaust and supply air through heat transfer tubes and collector, which contributes to improved energy saving.

REFERENCES

1. Mikheyev M.A., Mikheyeva I.M. *Basics of heat transfer*. Moscow, Energiya, 1973; 319. (rus.).
2. Bykov L.V., Molchanov A.M., Yanyshv D.S. *Fundamentals of computational heat transfer and hydrodynamics*. Moscow, URSS, 2019; 200. (rus.).
3. Vidin Yu.V. *Engineering methods for calculating heat transfer problems*. Moscow, Infra-M, 2018; 166. (rus.).
4. Nashchokin V.V. *Technical thermodynamics and heat transfer*. Moscow, Higher School, 1975; 496. (rus.).
5. Kudinov I.V. *Mathematical modeling of hydrodynamics and heat transfer in moving fluids : monograph*. St. Petersburg, Lan', 2015; 208. (rus.).
6. Vinogradov S.N., Tarantsev K.V., Vinogradov O.S. *Selection and calculation of heat exchangers : textbook*. Penza, PGU Publ., 2001; 100. (rus.).
7. Zhukauskas A.A. *Convective transport in heat exchangers*. Moscow, Nauka, 1982; 472. (rus.).
8. Samarin O.D., Yatsyna V.A. Research of the dependence of the thermal efficiency of the plate heat exchanger from the ventilation unit size. *Plumbing*,

Heating, Air-Conditioning. 2021; 2(230):71-73. EDN NDMEZG. (rus.).

9. Borowski M., Karch M., Kleszcz S., Sala P., Waryan G. An experimental and numerical investigation of the thermal and non-thermal efficiency for counter-flow heat exchanger. *E3S Web of Conferences*. 2019; 128:04008. DOI: 10.1051/e3sconf/201912804008

10. Lamlerd B., Bubphachot B., Chompookham T. Experimental investigation of heat transfer characteristics of steam generator with circular-ring turbulators. *Case Studies in Thermal Engineering*. 2023; 41:102549. DOI: 10.1016/j.csite.2022.102549

11. Belonogov N.V., Pronin V.A. Optimization of geometric parameters of cross-flow plate recuperators. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2008; 1:21-23. EDN JXORYH. (rus.).

12. Karapuzova N.Yu., Fokin V.M. *Calculation of heat exchangers: guidelines for course and diploma design*. Volgograd, Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering, 2013; 67. EDN WABVMN. (rus.).

13. Chompookham T., Chingtuaythong W., Chokphoemphun S. Influence of a novel serrated wire coil insert on thermal characteristics and air flow behavior in a tubular heat exchanger. *International Journal of Thermal Sciences*. 2022; 171:107184. DOI: 10.1016/j.ijthermalsci.2021.107184

14. Rutkviy A.L., Makoeva A.K., Korobkin R.S. Research into cathodic processes in the electrolysis of alkaline lead solutions. *Science and Business: Ways of Development*. 2021; 1(115):30-33. EDN EJDJJJ. (rus.).

15. Kleszcz S., Jaszczur M., Pawela B. An analysis of the periodic counterflow heat exchanger for air-to-air heat recovery ventilators. *Energy Reports*. 2023; 9:77-85. DOI: 10.1016/j.egyr.2023.03.088

16. Vdovichev A.A. To the question of determining the temperature efficiency of plate cross-flow air recuperators. *Bulletin of the Eurasian Science*. 2022; 14(5). EDN XYXUEV. (rus.).

17. Golijanek-Jędrzejczyk A., Mrowiec A., Kleszcz S., Hanus R., Zych M., Jaszczur M. A numerical and experimental analysis of multi-hole orifice in turbulent flow. *Measurement*. 2022; 193:110910. DOI: 10.1016/j.measurement.2022.110910

18. Belonogov N.V. Heat recovery in cross-flow plate recuperators. *Plumbing, Heating, Air-Conditioning*. 2012; 2(122):75-83. EDN RHWDYL. (rus.).

19. Vdovichev A.A. Numerical study of heat transfer and aerodynamics in an open-type cross-flow heat exchanger. *The Eurasian Scientific Journal*. 2022; 14(2). (rus.).

20. Demidochkin V.V., Kostuganov A.B., Cherechayev A.A. Determination of heat technical efficiency of laminated heat recover. *Bulletin of the Orenburg State University*. 2018; 6(218):123-131. DOI: 10.25198/1814-6457-218-123. EDN HNFKOY (rus.).

21. Vdovichev A.A. Features of numerical simulation of a plate cross-precision air recuperator. *The Eurasian Scientific Journal*. 2021; 5. (rus.).

22. Krasnov Yu.S. *Installation of industrial ventilation systems*. Moscow, Stroyizdat, 1983; 245. (rus.).

23. Krasnov Yu.S., Borisoglebskaya A.P., Antipov A.V. *Ventilation and air conditioning systems. Recommendations for design, testing and commissioning*. Moscow, Termokul, 2006. (rus.).

24. Samarin O.D. *Fundamentals of ensuring the microclimate of buildings : textbook*. Moscow, ASV, 2014; 203. (rus.).

25. Kamenev P.N., Tertchnik E.I. *Ventilation*. Moscow, ASV, 2006. (rus.).

26. Pachkin S.G., Kotlyarov R.V., Shevtsova T.G., Ivanov P.P., Li S.R., Presnova A.S. Development of an automated control system for plenum exhaust ventilation. *Modern High Technologies*. 2022; 1:80-84. DOI: 10.17513/snt.39013. EDN CYYMBL. (rus.).

27. Vlasenko O.M., Sorokin A.S., Abdulayev S.Kh. Ventilation heating during automation of industrial buildings of light industry. *Design and technologies*. 2015; 50(92):70-77. EDN VXLCNT. (rus.).

28. Halawa E., van Hoof J. The adaptive approach to thermal comfort: A critical overview. *Energy and Buildings*. 2012; 51:101-110. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.04.011

29. Arkhipov G.V. *Automatic regulation of ventilation and air conditioning. Principal technological schemes of automatic control systems*. Moscow, Gosenergoizdat, 1961; 176. (rus.).

Received May 31, 2023.

Adopted in revised form on June 6, 2023.

Approved for publication on June 23, 2023.

B I O N O T E S : **Dmitrii O. Khlopitsyn** — postgraduate student; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 1107240, Scopus: 57224204063, ORCID: 0009-0003-4988-3385; dkhlopitsyn@mail.ru;

Andrey G. Rymarov — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Heat and Gas Supply and Ventilation; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 665928, Scopus: 7801333552, ResearcherID: AFM-6219-2022, ORCID: 0000-0002-1901-1557; rymarov@yandex.ru.

Contribution of the authors:

Dmitrii O. Khlopitsyn — idea, collection of material, processing of material, writing an article.

Andrey G. Rymarov — scientific guidance, scientific text editing, research concept.

The authors declare that there is no conflict of interest.