Для цитирования: Кравчук В.Ю., Рымаров А.Г. Система реверсивной вентиляции для административных зданий. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2017;44 (4):161-169. DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-161-169

For citation: Kravchuk V.Yu., Rymarov A.G. Reversible ventilation system for administrative buildings. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2017; 44 (4): 161-169. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-161-169

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

УДК 697.952.4

DOI:10.21822/2073-6185-2017-44-4-161-169

СИСТЕМА РЕВЕРСИВНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ДЛЯ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЗДАНИЙ

Кравчук В. Ю.², Рымаров А. Г.¹

¹⁻²Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,

¹⁻²129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д.26, Россия,

¹ e-mail: rymarov@yandex.ru, ² e-mail: valerik_kravchuk@mail.ru

Резюме: Цель. Авторами поставлена цель и сформулированы задачи исследования: рассмотреть возможность применения принципа реверсирования воздушных потоков для системы централизованной вентиляции; разработать конкретную схему воздухообмена реверсивной вентиляции, которая будет учитывать особенности микроклимата административных зданий; выбрать тип заполнения воздухопроницаемого элемента и обосновать этот выбор; определить условия смены направления движения воздуха в системе вентиляции и область ее применения; сформировать перечень оборудования, необходимого для работы такой системы; рассмотреть влияние приточно-вытяжных устройств на тепло-влажностный режим наружных ограждений. **Метод.** Для достижения поставленной цели был проработан опубликованный тематический материал, проведен патентный поиск по российской и европейской базам данных. Были использованы данные математического моделирования фильтрации в пористых средах и результаты экспериментов. Применен метод вентиляции помещений административных зданий с использованием реверсирования движения потоков приточного и вытяжного воздуха по одним и тем же каналам. **Результат.** Представлены схемы реверсивной системы вентиляции, рассмотрены режимы работы реверсивной системы вентиляции. Установлено, что идея реверсирования вентиляционных потоков до сих пор не применялась при разработке централизованных систем вентиляции. На основании указанных опубликованных материалов был сделан вывод о том, что предлагаемая конструкция приточно-вытяжных устройств может применяться на практике. Предложена оригинальная схема воздухообмена для вентиляции административных зданий и конструкция приточно-вытяжных устройств для этой системы; определены условия смены режимов работы системы и область ее применения. **Вывод.** Использование предлагаемой системы вентиляции позволяет обеспечивать нормативный воздухообмен, без использования приточной установки в холодный период года. Такое применение реверсирования потоков воздуха позволяет наиболее полно использовать потенциал естественных сил для обеспечения воздухообмена помещений.

Ключевые слова: реверсивная вентиляция, воздухопроницаемые элементы, воздушный режим, приточно-вытяжные устройства

TECHNICAL SCIENCE BUILDING AND ARCHITECTURE

REVERSIBLE VENTILATION SYSTEM FOR ADMINISTRATIVE BUILDINGS

Valery Yu. Kravchuk², Andrey G. Rymarov¹

¹⁻²Moscow State University of Civil Engineering (National Research University),

¹⁻²26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow 129337, Russia,

¹e-mail: rymarov@yandex.ru, ²e-mail: valerik_kravchuk@mail.ru

Abstract. Objectives To consider the possibility of applying the principle of reversing air flows for a centralised ventilation system; to develop a specific scheme for air exchange reversible ventilation, which will take into account the peculiarities of the microclimate of administrative buildings; to select the type of filling of the air-permeable element and justify this choice; to determine the conditions for changing the direction of air movement in the ventilation system and the area of its application; to form a list of equipment necessary for the operation of such a system; to consider the influence of supply and exhaust devices on the heat and humidity regime of claddings. **Methods** To achieve this goal, the published thematic material was reviewed and a patent search carried out using Russian and European databases. Data on mathematical modelling of filtration in porous media and experimental results were used. A method for ventilating rooms in administrative building using the reversal of movement of supply and exhaust air streams along the same channels was applied. **Results** Schemas for reversible ventilation systems are presented and their modes of operation considered. It is established that the idea of reversing ventilation flows has not yet been applied in the development of centralised ventilation systems. Based on these published materials, it was concluded that the proposed design of supply and exhaust devices can be used in practice. An original air exchange scheme for the ventilation of administrative buildings and design of supply and exhaust devices for this system are proposed. The conditions for changing the operating modes of the system and the scope of its application are determined. **Conclusion** The use of the proposed ventilation system allows normative air exchange to be provided without using a supply unit during the cold season. This application of airflow reversal allows the potential of natural forces to be used to the fullest extent to ensure the air exchange of the rooms.

Keywords: reversible ventilation, air permeable elements, air mode, supply and exhaust devices

Введение. Процесс непрерывной урбанизации заметно меняет окружающую среду человека. Исследования, выполненные в работах [1-3], обосновывают значительное повышение потребления искусственного холода в административных и жилых зданиях к концу XXI века, вызванное процессами глобального изменения климата.

Этот прогноз заставляет ученых и инженеров искать все более эффективные конструкции систем вентиляции и кондиционирования, разрабатывать оригинальные схемы циркуляции воздушных масс в здании.

Исследования [4-5] показывают, что естественная и частично механизированная вентиляция имеют значительный потенциал в области энергосбережения.

Среди положительных сторон естественных и гибридных систем вентиляции не только снижение капитальных и эксплуатационных расходов, но и более благоприятный микроклимат, оказывающий непосредственное влияние на организм человека.

Подача приточного воздуха через открытые проемы наружных ограждений позволяет снизить урбанистическую нагрузку на психику посетителей или проживающих.

Такой эффект достигается во многом благодаря сохранению естественной ионизации

наружного воздуха, благодаря чему, немеханизированные системы создают в помещениях микроклимат, максимально приближенный к естественному.

При этом механические системы вентиляции полностью нивелируют положительный эффект ионизированного воздуха при обработке его в секциях приточных установок и при движении его в воздуховодах. Как следствие, процент посетителей, удовлетворенных качеством воздушной среды в помещениях с такой вентиляцией меньше, чем в помещениях с полностью или частично естественной вентиляцией.

Следует отметить, что, несмотря на повсеместное распространение механических систем кондиционирования, проблема обеспечения качественных параметров микроклимата до сих пор не всегда бывает решена.

Данная статья посвящена разработке оригинального способа организации воздухообмена для обеспечения вентиляции административных зданий.

Существует большое разнообразие схем организации воздухообмена при гибридной вентиляции. Приток и вытяжка могут быть централизованными или местными.

Помимо конкретного выбора системы можно по-разному использовать природные силы, такие как гравитационный и ветровой напор и солнечное излучение.

Гравитационный напор можно увеличить за счет добавления высоты шахты или дополнительного нагревания в ней воздуха [6]. Полный штиль, как погодное явление, встречается довольно редко. Скорость ветра зависит от высоты, и места расположения здания.

В городской застройке поведение потоков воздуха бывает непросто предсказать.

Для решения этой задачи сейчас используются методы численного моделирования внешней задачи воздушного режима здания.

Перепад располагаемого давления можно увеличить за счет особой архитектуры здания и формы оголовков вентиляционных шахт.

В этих целях могут использоваться, например, вытяжные отверстия в форме трубки Вентури [7]. Высокие температуры наружного воздуха зачастую наблюдаются при довольно сильном солнечном излучении. Теплота, полученная от солнца, может направляться на нагрев вытяжных каналов системы вентиляции или передаваться на побудитель тяги посредством фотоэлектрической схемы для нормализации работы вентиляции.

Довольно известным решением для гибридной вентиляции является использование двойных фасадов [8]. В этом случае оболочка здания состоит из двух слоев, зазор между которыми работает как солнечный коллектор. Нагретый в этом проеме воздух стремится вверх и создает в помещениях здания разрежение.

Благодаря этому повышается гидравлическая устойчивость систем вентиляции в теплый период. По аналогии с двойными фасадами разработана и схема вентиляции, при которой вытяжной воздуховод прокладывается на наружной стороне здания. Правда, этот способ применим только в очень теплой местности.

В большинстве случаев проектные решения, предусматривающие использование гибридных систем, являются индивидуальными, так как они не применяются в зданиях типовой архитектуры. Происходит это ввиду пока еще недостаточно глубокой проработки темы энергосберегающей вентиляции и привязанности проектировщиков к традиционным решениям. Поэтому унификация таких проектов затруднительна.

Постановка задачи. Данное исследование ставит задачей разработку технических приемов, которые смогут применяться повсеместно при проектировании систем гибридной вентиляции в административных зданиях.

Отдельного внимания заслуживает схема воздухообмена, в которой обратная тяга представляет собой еще один способ вентиляции.

С учетом данных положений в задачи исследования входило:

1. Рассмотреть возможность применения принципа реверсирования воздушных потоков для системы централизованной вентиляции.
2. Разработать конкретную схему воздухообмена реверсивной вентиляции, которая будет учитывать особенности микроклимата административных зданий.

3. Выбрать тип заполнения воздухопроницаемого элемента и обосновать этот выбор.
4. Определить условия смены направления движения воздуха в системе вентиляции и область ее применения.
5. Сформировать перечень оборудования, необходимого для работы такой системы.
6. Рассмотреть влияние приточно-вытяжных устройств на тепло-влажностный режим наружных ограждений.

Методы исследования. Идея применения принципа реверсирования воздушных потоков не нова в инженерной практике. Со второй половины 20 века получен ряд патентов на системы реверсивной вентиляции и устройства, реализующие этот метод [9-12].

В работах [13-16] частично излагается принцип работы реверсивной вентиляции с учетом обеспечения параметров микроклимата в помещениях здания. Эти материалы также содержат исследования тепломассообмена в пористых средах регенеративных теплообменников, применявшихся при реверсивной вентиляции ранее.

До нашего времени, не была выявлена попытка реализовать принцип реверсирования в централизованных системах вентиляции зданий из-за неудачных конструктивных решений и по экономическим показателям, что привело к необходимости изучения систем реверсивной вентиляции в рамках проводимого исследования.

Обсуждение результатов. Реверсивная вентиляция представляет собой систему, в которой воздух изменяет направление движения по воздуховодам, в зависимости от наружных метеорологических условий, что происходит при последовательной смене холодного и теплого периодов года.

Такая система имеет два режима работы:

1. Естественное движение воздуха (приток воздуха с улицы в помещения через приточно-вытяжные устройства, движение воздуха в каналах или воздуховодах и удаление воздуха в верхней части здания: на кровле, в зоне чердака или технического этажа).
2. Обратное движение воздуха (забор притока в верхней части здания, движение воздуха по каналам или воздуховодам в помещения и удаление его через приточно-вытяжное устройство).

Для нормальной работы система должна быть оборудована индивидуальными приточно-вытяжными устройствами, воздуховодами для перемещения воздуха, приточной установкой, набором регулирующих клапанов и метеостанцией, определяющей скорость и направление ветра, а также температуру наружного воздуха.

Схемы работы системы реверсивной вентиляции представлены на рис.1 и 2.

Естественный режим работы системы реверсивной вентиляции имеет место в холодный период года, когда приточный воздух поступает в помещения здания через приточно-вытяжные устройства, после чего удаляется из помещений через воздуховоды под действием естественных сил.

Приточная установка отключена от системы воздуховодов клапанами и в указанном режиме бездействует. Индивидуальные приточно-вытяжные устройства располагаются под окном в проеме наружной стены за отопительным прибором, поэтому приточный воздух попадает в помещение, обтекая отопительный прибор с минимальными скоростями и нагреваясь. Тепловая мощность отопительного прибора подбирается так, чтобы компенсировать тепловые потери помещения за счет теплопередачи и нагревать приточный воздух до температуры, соответствующей санитарным нормам.

Как известно, начало переходного периода года характеризуется среднесуточной температурой наружного воздуха $+8^{\circ}\text{C}$. В этот период система отопления уже отключена, а обогрев помещений здания предусматривается теплотой, аккумулированной внутренними и наружными ограждениями и внутренними теплопоступлениями.

В таких условиях нагревание приточного воздуха системой отопления невозможно, поэтому режим работы системы вентиляции меняется на обратный.

Рис. 1. Схема естественного режима работы системы реверсивной вентиляции
 1-воздуховоды системы вентиляции, 2-приточная установка, 3-индивидуальные приточно-вытяжные устройства, 4-отопительные приборы
Fig. 1. Scheme of the natural operating mode of the reversible ventilation system.
 1-ventilation ducts of the ventilation system, 2-supply installation, 3-individual supply-and-extract devices, 4-heating devices

Рис. 2. Схема обратного режима работы системы реверсивной вентиляции
Fig. 2. Diagram of reverse operation of the reversible ventilation system

В этом режиме наружный воздух забирается с улицы приточной установкой, расположенной на техническом этаже помещения, обрабатывается в её секциях и подается по вентиляционным каналам в обратном направлении в помещения.

При этом вытяжная шахта системы вентиляции отключается от сети воздуховодов кла-

панами. После ассимиляции тепловлагоизбытков загрязненный воздух из помещения удаляется через индивидуальные приточно-вытяжные устройства на улицу.

Схема приточно-вытяжного устройства системы вентиляции представлена на рис. 3.

**Рис. 3. Схема индивидуального приточно-вытяжного устройства
1-отопительный прибор, 2-воздухопроницаемый элемент приточно-вытяжного
устройства, 3-ветроотбойный щиток, 4-регулирующий клапан**

**Fig. 3. The scheme of the individual supply-and-exhaust device. 1-heating device,
2-air-permeable element of the supply and exhaust device, 3-windbreaker, 4-control valve**

В качестве воздухопроницаемого элемента индивидуального приточно-вытяжного устройства предлагается использовать пористый материал, который позволит устройству пропускать расчетный объем воздуха.

Так как количество воздуха, фильтрующегося через пористый материал, зависит от перепада давления между наружным и внутренним воздухом, то для обеспечения постоянства расхода в конструкции приточно-вытяжного устройства предусмотрен регулирующий клапан.

Степень открытия створок клапана принимается исходя из величины перепада давления, формирующегося между наружной стороной приточно-вытяжного устройства и оголовком вентиляционной шахты. Этот перепад определяется аналитически на основании данных о скорости и направлении ветра, температуры наружного воздуха и численных решениях внешней задачи воздушного режима здания или по существующим эмпирическим зависимостям, представленным в СП 20.13330.2011 «Нагрузки и воздействия».

При отрицательном перепаде давления в холодный период года клапан должен находиться в закрытом состоянии, так как эксфильтрация внутреннего воздуха через пористый материал приведет к его увлажнению и снижению пропускной способности приточно-вытяжного устройства. При относительно длительной эксфильтрации может происходить выпадение капельной влаги в толще воздухопроницаемого материала с ее последующим замораживанием и нарушением пористой структуры проницаемого элемента.

Исследования гидравлического и теплового режима пористых материалов реверсивных теплообменников представлены в публикациях [17, 19-20, 22]. Публикации [18, 21, 23] посвящены исследованию тепловых и гидравлических характеристик регулярных и нерегулярных засыпок, также отчасти являющихся пористыми материалами, которые могут быть применены для заполнения проницаемого элемента индивидуального приточно-вытяжного устройства. На основании этих исследований можно утверждать, что пористые материалы и засыпки применимы для фильтрации вентиляционного воздуха.

Наблюдается также и существующая на протяжении 25 лет тенденция установки приточных клапанов в наружные ограждения с целью повышения воздухообмена в помещениях с системами естественной и механической вентиляции. В отношении применения приточных клапанов мнения исследователей различны. Так, например, в публикациях [24-26] авторы относятся к ним положительно, а в публикациях [27-28] имеет место диаметрально противоположная точка зрения.

Одной из проблем приточных клапанов является малая площадь сечения отверстия для прохождения приточного воздуха, которая формирует струю, попадающую в рабочую зону помещения с недопустимыми по санитарным нормам параметрами.

В рассматриваемом индивидуальном приточно-вытяжном устройстве, заполненном пористым материалом, благодаря большой площади поперечного сечения, создается равномерное поле малых скоростей воздуха (до 0,05 м/с). Это позволяет быстро и безопасно подогреть его отопительным прибором, чем исключается формирование локально переохлажденных зон в обслуживаемом помещении.

Вывод. Реверсивная система вентиляции имеет ограниченную область применения.

В частности она не может быть использована в жилых зданиях, так как в обратном режиме работы приточный воздух будет поступать в относительно грязные помещения санузлов и кухонь и переносить влагу, теплоту и неприятные запахи в помещения.

Такая система также неприменима в помещениях, где существуют вредные выделения, которые могут осаждаться на стенках вентиляционных каналов и, впоследствии, выноситься в помещения при обратном режиме работы.

Использование предлагаемой системы вентиляции позволяет обеспечивать нормативный воздухообмен, без использования приточной установки в холодный период года.

Такое применение реверсирования потоков воздуха позволяет наиболее полно использовать потенциал естественных сил для обеспечения воздухообмена помещений.

Библиографический список:

1. Christenson M. Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland /M. Christenson, H. Manz, D.Gyalistras //Energy Conversion and Management. 2005. № 47. - С. 671-686.
2. Frank T. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland/Energy and Buildings./ 2005. № 37. - С. 1175-1185.
3. Kolokotroni M. The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies/ M. Kolokotroni, I. Giannitsaris, R. Watkins // Solar Energy. 2006. № 80. - С. 383-392.
4. Artmann N. Cooling of the building structure by night-time ventilation: PhD thesis/ N. Artmann.Aalborg University, Department of Civil Engineering Indoor Environmental Engineering Research Group. Denmark.2008.
5. «Use the interaction of gravitational forces, the sun and wind for effective ventilation»./P. van den Engel, R. Kemperman, H. Doolard./ «REHVA»./ aug. 2012./
6. «Natural and hybrid ventilation principles based on buoyancy, sun and wind». P. Van den Engel, R. Kemperman, H. Doolard, REHVA, aug. 2012., pp. 25-32.
7. Blocken B., Hoof T. Van, Aanen L., Bronsema B. «Computational analysis of the performance of a venturi-shaped roof for natural ventilation: venturi-effect versus wind-blocked effect.», Computers & Fluids., 26., April., 2011
8. Natural ventilation in the double skin facade with venetian blind. Xiao-li Xu, Zhao Yang. Energy and Buildings. Volume 40, Issue 8, 2008, pp. 1498-1504
9. Hermann J. W. Патент на систему вентиляции [Электронный ресурс]. - режим доступа: <http://bd.patent.su/2277000-2277999/pat/servlet/servlet10be.html> - (дата обращения 17.10.2017)
10. Аристов Ю. И., Мухин В. А., Мезенцев И. В. Патент на способ регулирования теплообмена в системе вентиляции офисных и жилых помещений и устройство для реализации этого способа [Электронный ресурс]. - режим доступа: <http://bd.patent.su/2277000-2277999/pat/servlet/servlet10be.html> - (дата обращения 17.10.2017)
11. Мальсагов А. Х. Патент на устройство климат-системы для помещений [Электронный ресурс]. - режим доступа: <http://bd.patent.su/2360000-2360999/pat/servlet/servlet2e9c.html> - (дата обращения 17.10.2017)
12. Богословский В. Н., Титов В. П., Парфентьева Н.А., Медведева Е. В. Патент на установку для вентиляции помещений [Электронный ресурс]. - режим доступа: <http://patents.su/2-628385-ustanovka-dlya-ventilyacii-pomeshhenij.html> - (дата обращения 17.10.2017)
13. Dong Chen. Periodically reversible supply/exhaust ventilation strategy // Building and Environment. - 2017. -v. 124 (November). pp. 2590-2597.
14. Aristov Yu. I. A New approach to heat and moisture regeneration in the ventilation system of rooms. I. laboratory prototype of the regenerator / Yu. I. Aristov, I. V. Mezentssev, V. A. Mukhin// Journal of engineering physics and thermophysics. 2006. №3 (79). pp.569-576.
15. Aristov Yu. I. A New approach to heat and moisture regeneration in the ventilation system of rooms. II. prototype of the real device / Yu. I. Aristov, I. V. Mezentssev, V. A. Mukhin// Journal of engineering physics and thermophysics. 2006. №3 (79). - С.577-584.
16. Aristov, Yu. I. A New approach to regenerating heat and moisture in ventilation systems / Yu. I. Aristov, I. V. Mezentssev, V. A. Mukhin// Energy and buildings. 2008. №3 (40). С. 204-208.

17. Nakoryakov, V. E. Investigations of nonstationary heat exchange for filtration in pervious media / V. E. Nakoryakov, V. A. Mukhin, N. N. Smirnova // Journal of engineering thermophysics. 1992. №2 (2). С. 103-119.
18. Dekhtyar R. A. Heat transfer in a packed bed at moderate values of the reynolds number / R. A. Dekhtyar, D. Ph. Sikovsky, A. V. Gorin, V. A. Mukhin // High temperature. 2002. №5 (40). С. 693-700.
19. Gorin A. V. Turbulent heat and mass transfer in complex geometry channels // отчето НИР/НИОКР. 1999.
20. Nizovtsev M. I. Regenerative heat exchanger with a periodic change in the airflow direction for room ventilation / M. I. Nizovtsev, V. Y. Borodulin, V. N. Letushko // Thermophysics and Aeromechanics. 2015. №6 (22). -С. 785-796.
21. Mezentsev I. V. Теплообмен в зернистых средах при реверсивных режимах фильтрации // Молодой ученый. 2010 № 10. С. 17-20.
22. Mezentsev I. V. Experimental study and mathematical modeling of heat transfer processes in heat accumulating media / I. V. Mezentsev, N. V. Vernikovskaya, Yu. I. Aristov, V. A. Mukhin // Thermophysics and Aeromechanics. 2006. №3 (13). С. 435-442.
23. Титов В.П., Парфентьева Н.А., Медведева Е.В. Пористый регенеративный теплообменник с неподвижной насадкой // Водоснабжение и санитарная техника. 1981. №4. С. 27-28.
24. Ватин Н. И. Системы вентиляции жилых помещений многоквартирных домов: учеб. пособие / Н. И. Ватин, Т. В. Самопляс. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2004. 44 с.
25. Zhilina T. S. Efficiency of natural ventilation in residential buildings / T. S. Zhilina, S. D. Vyatkina, Yu. S. Vyatkina // Фундаментальные исследования. 2017. №7. С. 25-29.
26. Bodrov M. V. Determining the actual performance of natural ventilation systems with a vertical gathering main of multifamily houses / M. V. Bodrov, V. P. Boldin, V. Yu. Kuzin, M. N. Kucherenko // Приволжский научный журнал. - 2015. - №1(33). - С. 54-59.
27. Рымаров А. Г., Кравчук В. Ю. Исследование применения воздушных клапанов в квартире жилого здания в холодный период // Сантехника. Отопление. Кондиционирование. 2016. №12 (180). —С. 70-71.
28. Ильин, И. В. Влияние параметров микроклимата на продуктивность свиней / И. В. Ильин, И. Ю. Игнаткин, М. Г. Курячий // Эффективное животноводство. – 2011. - №7. – С. 30-31.

References:

1. Christenson M., Manz H., Gyalistras D. Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. Energy Conversion and Management. 2005;47:671-686.
2. Frank T. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. Energy and Buildings. 2005;37:1175-1185.
3. Kolokotroni M., Giannitsaris I., Watkins R. The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. Solar Energy. 2006;80:383-392.
4. Artmann N. Cooling of the building structure by night-time ventilation: PhD thesis. Aalborg University, Department of Civil Engineering, Indoor Environmental Engineering Research Group. Denmark; 2008.
5. Van den Engel P., Kemperman R., Doolaard H. Use the interaction of gravitational forces, the sun and wind for effective ventilation. REHVA. Aug. 2012.
6. Van den Engel P., Kemperman R., Doolaard H. Natural and hybrid ventilation principles based on buoyancy, sun and wind. REHVA. Aug. 2012. P.25-32.
7. Blocken B., Van Hoof T., Aanen L., Bronsema B. Computational analysis of the performance of a venturi-shaped roof for natural ventilation: venturi-effect versus wind-blocked effect. Computers & Fluids. 2011. April, 26.
8. Xu X.-L., Yang Z. Natural ventilation in the double skin facade with venetian blind. Energy and Buildings. 2008;40(8):1498-1504.
9. Hermann J.W. Patent na sistem uventilyatsii [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://bd.patent.su/2277000-2277999/pat/servlet/servlet10be.html> (Data obrashcheniya 17.10.2017). [Hermann J.W. Patent for the ventilation system [Electronic resource]. Available at: <http://bd.patent.su/2277000-2277999/pat/servlet/servlet10be.html> (Access date 17.10.2017). (In Russ.)]
10. Aristov Yu. I., Mukhin V. A., Mezentsev I. V. Patent na sposob regulirovaniya teplotobmena v sisteme ventilyatsii ofisnykh i zhilykh pomeshchenii i ustroystvo dlya realizatsii etogo sposoba [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://bd.patent.su/2277000-2277999/pat/servlet/servlet10be.html> (data obrashcheniya 17.10.2017). [Aristov Yu. I., Mukhin V. A., Mezentsev I. V. Patent for the method of regulation of heat exchange in the ventilation system of office and residential buildings and the device for implementing this method [Electronic resource]. Available at: <http://bd.patent.su/2277000-2277999/pat/servlet/servlet10be.html> (access date 17.10.2017). (In Russ.)]
11. Mal'sagov A. Kh. Patent na ustroystvo klimat-sistemy dlya pomeshchenii [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://bd.patent.su/2360000-2360999/pat/servlet/servlet2e9c.html> (data obrashcheniya 17.10.2017). [Mal'sagov A. Kh. Patent for the device of a climate system for rooms [the Electronic resource]. Available at: <http://bd.patent.su/2360000-2360999/pat/servlet/servlet2e9c.html> (access date 17.10.2017). (In Russ.)]
12. Bogoslovskii V. N., Titov V. P., Parfent'eva N. A., Medvedeva E. V. Patent na ustanovku dlya ventilyatsii pomeshchenii [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <http://patents.su/2-628385-ustanovka-dlya-ventilyatsii-pomeshchenij.html> (data obrashcheniya 17.10.2017). [Bogoslovskii V. N., Titov V. P., Parfent'eva N. A., Medvedeva E. V. Patent for installation for ventilation of rooms [Electronic resource]. Available at: <http://patents.su/2-628385-ustanovka-dlya-ventilyatsii-pomeshchenij.html> (access date 17.10.2017). (In Russ.)]

13. Dong C. Periodically reversible supply/exhaust ventilation strategy. *Building and Environment*. 2017;124:2590-2597.
14. Aristov Yu.I., Mezentsev I.V., Mukhin V.A. A New approach to heat and moisture regeneration in the ventilation system of rooms. I. Laboratory prototype of the regenerator. *Journal of engineering physics and thermophysics*. 2006;3(79):569-576.
15. Aristov Yu.I., Mezentsev I.V., Mukhin V.A. A New approach to heat and moisture regeneration in the ventilation system of rooms. II. Prototype of the real device. *Journal of engineering physics and thermophysics*. 2006;3(79):577-584.
16. Aristov Yu.I., Mezentsev I.V., Mukhin V.A. A New approach to regenerating heat and moisture in ventilation systems. *Energy and buildings*. 2008;3(40):204-208.
17. Nakoryakov V. E., Mukhin V.A., Smirnova N.N. Investigations of nonstationary heat exchange for filtration in pervious media. *Journal of engineering thermophysics*. 1992;2(2):103-119.
18. Dekhtyar R. A., Sikovsky D.Ph., Gorin A.V., Mukhin V.A. Heat transfer in a packed bed at moderate values of the Reynolds number. *High temperature*. 2002;5(40):693-700.
19. Gorin A.V. Turbulent heat and mass transfer in complex geometry channels. NIR/NIOKR report. 1999.
20. Nizovtsev M.I., Borodulin V.Y., Letushko V.N. Regenerative heat exchanger with a periodic change in the air-flow direction for room ventilation. *Thermophysics and Aeromechanics*. 2015;6(22):785-796.
21. Mezentsev I.V. Teploobmen v zernistyx sredakh pri reversivnykh rezhimakh fil'tratsii. *Molodoi uchenyi*. 2010;10:17-20. [Mezentsev I.V. Teploobmen v zernistyx sredakh pri reversivnykh rezhimakh fil'tratsii. *Molodoi uchenyi*. 2010;10:17-20. Heat transfer in granular media with reversible filtration regimes. *The young scientist*. 2010;10:17-20. (In Russ.)]
22. Mezentsev I.V., Vernikovskaya N.V., Aristov Yu.I., Mukhin V.A. Experimental study and mathematical modeling of heat transfer processes in heat accumulating media. *Thermophysics and Aeromechanics*. 2006;3(13):435-442.
23. Titov V.P., Parfent'eva N.A., Medvedeva E.V. Poristy regenerativnyy teploobmennik s nepodvizhnoy nasadkoi. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 1981;4:27-28. [Titov V.P., Parfent'eva N.A., Medvedeva E.V. Porous regenerative heat exchanger with fixed nozzle. *Water Supply and Sanitary Technique*. 1981;4:27-28. (In Russ.)]
24. Vatin N.I., Samoplyas T.V. Sistemy ventilyatsii zhilykh pomeshchenii mnogokvartirnykh domov: ucheb. posobie. SPb.: Izd-vo SPbGPU; 2004. 44 s. [Vatin N.I., Samoplyas T.V. Ventilation systems for living quarters of apartment buildings: textbook. St. Petersburg: Publishing house of SPbSPU; 2004. 44 p. (In Russ.)]
25. Zhilina T.S., Vyatkina S.D., Vyatkina Yu.S. Efficiency of natural ventilation in residential buildings. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2017;7:25-29. [Zhilina T.S., Vyatkina S.D., Vyatkina Yu.S. Efficiency of natural ventilation in residential buildings. *Fundamental research*. 2017;7:25-29. (In Russ.)]
26. Bodrov M.V., Boldin V.P., Kuzin V.Yu., Kucherenko M.N. Determining the actual performance of natural ventilation systems with a vertical gathering main of multifamily houses. *Privolzhskiy nauchnyy zhurnal*. 2015;1(33):54-59. [Bodrov M.V., Boldin V.P., Kuzin V.Yu., Kucherenko M.N. Determining the actual performance of natural ventilation systems with multifamily houses. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2015;1(33):54-59. (In Russ.)]
27. Rymarov A.G., Kravchuk Y.U. Issledovanie primeneniya vozdukhnykh klapanov v kvartire zhilogo zdaniya v холодный период // *Santekhnika. Otoplenie. Kondicionirovanie*. 2016; 12 (180): 70-71. [Rymarov A.G., Kravchuk Y.U. Investigation of the use of air valves in the apartment of a residential building in the cold period. *Plumbing. Heating. Conditioning*. 2016; 12 (180): 70-71. (In Russ.)]
28. Il'in I.V., Ignatkin I.Yu., Kuryachii M.G. Vliyaniye parametrov mikroklimata na produktivnost' svinei. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2011;7:30-31. [Il'in I.V., Ignatkin I.Yu., Kuryachii M.G. Influence of microclimate parameters on the productivity of pigs. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2011;7:30-31. (In Russ.)]

Сведения об авторах:

Кравчук Валерий Юрьевич – ассистент кафедры теплогазоснабжения и вентиляции.

Рымаров Андрей Георгиевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теплогазоснабжения и вентиляции.

Information about the authors:

Valery Yu. Kravchuk – Assistant, Department of Heat, ventilation and air condition.

Andrey G. Rymarov – Cand. Sci. (Technical), Assoc. Prof., Department of Heat, ventilation and air condition.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию 19.09.2017.

Принята в печать 28.10.2017.

Conflict of interest.

Received 19.09.2017.

Accepted for publication 28.10.2017.