**Использование теплоты вытяжного воздуха  
для жилых зданий с теплым чердаком****Е.А. Зырянов<sup>1</sup>✉, Е.В. Тарасова<sup>2</sup>, В.П. Черненко<sup>3</sup>, Е.К. Трухин<sup>4</sup>**<sup>1,2,3,4</sup>Дальневосточный федеральный университет, п. Аякс, о. Русский, г. Владивосток, Россия

**Аннотация.** В России распространены жилые дома с теплым чердаком и естественной вытяжной вентиляцией, для которых использование теплоты вытяжного воздуха имеет большой потенциал для энергосбережения. Цель исследования – проанализировать существующий опыт и схемы рекуперации теплоты вытяжного воздуха для жилых зданий, разработать оптимальную схему с учетом особенностей многоэтажных домов с теплым чердаком; провести расчет потенциала теплоты вытяжного воздуха на примере реального объекта. Представлен анализ существующих схем рекуперации теплоты вытяжного воздуха для жилых зданий; результаты теоретических и практических расчетов обеспечения тепловой нагрузки на горячее водоснабжение за счет рекуперации теплоты вытяжного воздуха для многоквартирных домов. Теоретическое значение обеспечения тепловой нагрузки на горячее водоснабжение за счет рекуперации теплоты вытяжного воздуха – 45,6%. По результатам замеров параметров вытяжного воздуха в существующем жилом здании, его потенциала достаточно для обеспечения до 75% среднечасовой тепловой нагрузки на горячее водоснабжение. Предложенная схема рекуперации теплоты зданий с теплым чердаком может являться частью комплексных мер по уменьшению энергопотребления здания и улучшению системы вентиляции.

**Ключевые слова:** вентиляция многоэтажных жилых зданий, рекуперация теплоты, теплый чердак, энергосбережение

**Для цитирования:** Зырянов Е.А., Тарасова Е.В., Черненко В.П., Трухин Е.К. Использование теплоты вытяжного воздуха для жилых зданий с теплым чердаком // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2023. Т. 13. № 1. С. 28–38. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-28-38>.

**Original article****Using exhaust air heat for residential  
buildings with warm attics****Evgeny A. Zyryanov<sup>1</sup>✉, Elena V. Tarasova<sup>2</sup>,  
Vladimir P. Chernenkov<sup>3</sup>, Evgeny K. Trukhin<sup>4</sup>**<sup>1,2,3,4</sup>Far Eastern Federal University, Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok, Russia

**Abstract.** In Russia, residential buildings with warm attics and natural exhaust ventilation are common. Thus, the use of the exhaust air heat has a great potential in terms of energy efficiency. The aim of the study is to analyze existing experiences and exhaust air heat recovery for residential buildings, to develop an optimal circuitry taking into account the characteristics of multi-story buildings with warm attics, as well as to calculate the potential of exhaust air heat on the example of a real facility. The authors analyzed the existing exhaust air heat recovery circuitry for residential buildings, introduced the results of theoretical and practical calculations about heating load for hot water supply by means of exhaust air heat recovery in apartment buildings. The theoretical value for hot water heating load by means of exhaust air heat recovery comprises 45.6%. The measurements of the exhaust air in a residential building proved its sufficiency to provide up to 75% of the average hourly heat load for hot water supply. The suggested heat recovery circuitry for buildings with warm attics can contribute to comprehensive measures for reducing energy consumption and improving ventilation.

**Keywords:** ventilation of multi-storey residential buildings, heat recovery, warm attic, energy saving

**For citation:** Zyryanov E.A., Tarasova E.V., Chernenkov V.P., Trukhin E.K. Using exhaust air heat for residential buildings with warm attics. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost' = Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate*. 2023;13(1):28-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2023-1-28-38>.

## ВВЕДЕНИЕ

В жилых многоэтажных зданиях часто используется схема обеспечения воздухообмена посредством естественной вентиляции с теплым чердаком [1]. Такой вид вентиляции требует наименьших капиталовложений и эксплуатационных затрат, но имеет существенные недостатки: вытяжной воздух выбрасывается наружу без рекуперации теплоты, иначе говоря теплота вытяжного воздуха не используется. Между тем, рекуперация теплоты в системах вентиляции является классическим энергосберегающим решением [2–13].

В ряде стран, таких как Корея, США, Япония, Австралия, а также странах ЕС, системы вентиляции многоквартирных домов развиваются по двум основным направлениям [14]:

- общедомовая приточно-вытяжная вентиляция с рекуперацией тепла вытяжного воздуха, позволяющая получить экономию расхода тепла на нужды отопления и вентиляции до 40%;

- поквартирные системы вентиляции с рекуперацией тепла вытяжного воздуха, имеющие больший потребительский эффект, поскольку оборудование устанавливается внутри квартиры и не зависит от работы общедомовых систем. Кроме того, потребитель управляет микроклиматом в своей квартире и определяет режим работы самостоятельно.

Почти за 12 лет действия Федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности, и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» на практике не были достигнуты существенные результаты по повышению энергетической эффективности для систем вентиляции жилых многоквартирных зданий [15]. Это связано также и с тем, что существует не так много проработанных решений по энергосбережению, дающих ощутимый эффект при минимальных вмешательствах в существующие инженерные системы.

Целью данной статьи является: анализ существующего опыта и схем рекуперации теплоты вытяжного воздуха для жилых зданий, разработка новой схемы с учетом особенностей многоэтажных домов с теплым чердаком, и определение потенциала теплоты вытяжного воздуха на примере реального

объекта.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Произведен поиск технических решений систем отбора тепловой энергии из воздуха, удаляемого системой вентиляции. Среди реализованных объектов наиболее известен пример системы рекуперации теплоты вытяжного воздуха для многоквартирного жилого дома в г. Москве [2, 3, 16]. Согласно схеме утилизации теплоты для горячего водоснабжения из вытяжного воздуха рекуперировалось 110 кВт теплоты при общем расходе теплоты на ГВС 320 кВт, что составляет 34,3%. Однако, в этом доме изначально была запроектирована механическая вентиляция и схема с утилизаторами теплоты вытяжного воздуха, тепловым насосом и утилизатором теплоты сточных вод. Для реконструкции жилых домов с теплым чердаком и естественной вентиляцией подобная схема реализации рекуперации теплоты малоприменима, так как требует кардинальных вмешательств в существующую систему вентиляции построенного здания.

Также произведен поиск среди запатентованных схем по теме «Автономная система отбора тепловой энергии из вентиляции». Поиск выполнен на глубину 30 лет – с 1990 по 2020 гг. [17–21]. Технические решения, наиболее подходящие для многоквартирных жилых домов, следующие:

- JP1999270924. Cooling, heating, hot-water supplying and ventilating device (Устройство для охлаждения, отопления, горячего водоснабжения и вентиляции). Это техническое решение предлагается для индивидуального жилого дома, но может быть использовано в качестве поквартирной системы. Теплота вытяжного воздуха с помощью теплового насоса передается в бак-аккумулятор горячей воды и далее используется для горячего водоснабжения. Для использования в многоэтажном здании, потребуется множество таких установок. Работа системы вентиляции осуществляется только механическим побуждением – вентилятором.

- DE202006005469. Water preheating device for low-energy home, uses heat exchanger receiving heat from exhausted ventilation air and additional heat exchanger that is part of building heating system (Устройство предварительного

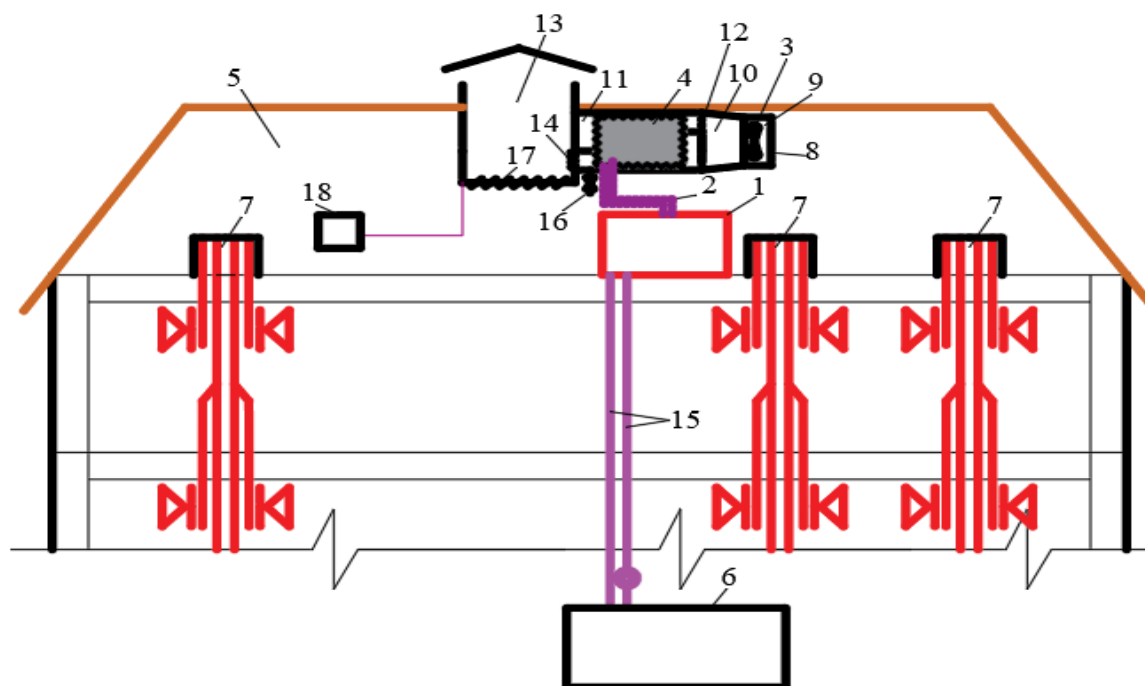
нагрева воды для дома с низким энергопотреблением, использующее теплообменник, получающий тепло от вытяжного вентиляционного воздуха, и дополнительный теплообменник, входящий в состав системы отопления здания) [8]. В данной схеме теплота вытяжного воздуха используется для системы нагрева горячей воды по двухступенчатой схеме. Тепловой насос отбирает тепло из вытяжного воздуха и передает его в систему циркуляции с теплообменником и баком аккумулятором. Далее нагретая вода поступает во второй бак аккумулятор для догрева до требуемой температуры с помощью теплоносителя из системы теплоснабжения. В этом техническом решении не проработана схема вентиляции, место установки теплового насоса.

– EP2853829. Air-conditioning device and method for controlling such an air-conditioning device (Устройство кондиционирования воздуха и способ управления таким устройством кондиционирования воздуха). Вытяжной воздух собирается в коллектор и подается в тепловой насос. Тепловой насос воздух/вода нагревает теплоноситель для системы отопления и вентиляции. В схеме отсутствует теплый чердак как отдельный этаж для сбора вентиляционного воздуха, имеется только вентиляционный коллектор. Вытяжная вентиляция осуществляется только с механическим побуждением – вентилятором. Расход вытяжного воздуха изменяется в зависимости от содержания CO<sub>2</sub> или NO<sub>x</sub> в вытяжном воздухе. Для постоянства расхода воздушного потока через тепловой насос имеется подмес наружного холодного воздуха, что понижает температуру смеси воздуха и понижается эффективность работы теплового насоса, особенно это ощутимо в холодный период года.

– EP2253892. Method for using heat released through natural ventilation within a central heating system of a building and for producing hot water (Способ использования тепла, выделяемого естественной вентиляцией в системе центрального отопления здания и для производства горячей воды). В изобретении предлагается способ использования тепла, получаемого с помощью теплового насоса от вентиляции с естественным побуждением, для центрального отопления здания (включая многоквартирные дома) и горячего водоснабжения. В вентиляционной шахте установлен теплообменник, через который циркулирует незамерзающий теплоноситель. Используется тепловой насос вода/вода. В схеме не предусмотрено наличие теплого чердака, а также имеется

дополнительный контур с теплообменником, снижающим эффективность работы теплового насоса и рекуперации теплоты. Разработана схема использования теплоты вытяжного вентиляционного воздуха для нужд системы горячего водоснабжения, учитывающая особенности зданий с теплым чердаком [17].

Схема представлена на рис. 1. Вытяжной воздух из вентиляционных блоков с каналами спутниками 7 поступает в пространство теплого чердака и далее через вытяжную шахту 13 удаляется наружу. Наиболее теплый вентиляционный воздух скапливается в верхней части пространства теплого чердака – под крышным покрытием. Возле вентиляционной шахты 13, под крышным покрытием, находится теплообменник 4, через который вентилятором 3 пропускается вытяжной вентиляционный воздух. Вентиляторы 3 для осуществления функции постоянства расхода вентиляционного воздуха должны иметь систему автоматического поддержания постоянства напора. Внутри теплообменника 4 находится испаритель теплового насоса. Испаритель связан с тепловым насосом через систему трубок 2, по которым течет холодильный агент. Воздух проходит через перфорированную решетку 12 и поступает в воздушные каналы испарителя 4, где отдает свою теплоту холодильному агенту теплового насоса 1. Далее охлажденный воздух через направляющие решетки поступает в вытяжную шахту 13 и выходит наружу. Перфорированная решетка 12 необходима для равномерного распределения воздушного потока в испарителе 4. В нижней части шахты 13 установлен утепленный вентиляционный клапан 17. При работе вентиляторов 3, клапан 17 имеет положение «закрыто». Вентиляционный клапан 17 имеет систему подогрева для защиты от обмерзания и резервный источник питания 18. В случае непредвиденных обстоятельств и отключения системы электроснабжения жилого здания, клапан 17 с помощью резервного источника питания 18 переводится в положение «открыто». Также в положение «открыто» клапан 17 переходит при отключении вентиляторов 3. В нижней части теплообменника 4 находится поддон для сбора конденсата, и через патрубки 16 конденсат отводится в систему канализации. Тепловой насос 1, используя низкопотенциальную теплоту вытяжного воздуха, подогревает воду, циркулирующую между тепловым насосом и баком-аккумулятором. Далее нагретая вода используется для нужд горячего водоснабжения жилого здания.



**Рис. 1.** Схема использования вытяжного вентиляционного воздуха здания для системы горячего водоснабжения: 1 – тепловой насос; 2 – циркуляционный контур; 3 – вентилятор; 4 – испаритель; 5 – теплый чердак; 6 – аккумуляторный бак; 7 – вентиляционный коллектор; 8 – корпус вентиляционной установки; 9 – входная секция; 10 – соединительная секция; 11 – секция теплообменника; 12 – перфорированная решетка; 13 – вытяжная шахта; 14 – боковая вертикальная поверхность вытяжной шахты; 15 – трубы циркуляционного контура; 16 – слив для поддона; 17 – утепленный вентиляционный клапан; 18 – резервный источник питания

**Fig. 1.** Scheme of using the exhaust ventilation air of the building for the hot water supply system: 1 – heat pump; 2 – circulation circuit; 3 – fan; 4 – evaporator; 5 – warm attic; 6 – battery tank; 7 – ventilation manifold; 8 – housing of the ventilation unit; 9 – input section; 10 – connecting section; 11 – heat exchanger section; 12 – perforated grating; 13 – exhaust shaft; 14 – side vertical surface of the exhaust shaft; 15 – tubes of the circulation circuit; 16 – drain for the pallet; 17 – insulated ventilation valve; 18 – backup power supply

Для оценки потенциала теплоты, содержащегося в вытяжном воздухе, рассчитаны (таблица):

1. Среднечасовые расходы теплоты на горячее водоснабжение в зависимости от количества потребителей (формула 1);

2. Расход явной теплоты, который возможно снять с вентиляционного воздуха, при температурном перепаде 12,5 °С, в зависимости от количества жителей в доме (формула 3).

Среднечасовой расход тепловой энергии, кВт, на приготовление горячей воды с учетом потерь теплоты подающими и циркуляционными трубопроводами [СП 124.13330.2012]:

$$Q_T^h = 1.16 \cdot q_T^h \cdot (t^h - t^c) + Q^{hr} \text{ кВт}, \quad (1)$$

где  $q_T^h$ , средний часовой расход воды, м³/ч:

$$q_T^h = q_T^h \cdot U_i / (1000 \cdot T), \text{ м}^3/\text{ч}; \quad (2)$$

$q_T^h$  – норма расхода горячей воды в сутки, 70 л/сут;  $U_i$  – число водопотребителей, чел;  $T$  – расчетное время водопотребления, ч (принято 24 ч);  $Q^{hr}$  в зависимости от располо-

жения индивидуального теплового пункта (ИТП), принятой конструктивной схемы горячего водоснабжения определяется расчетом и может составлять (20–60)% от  $Q_T^h$ . Значение  $Q_T^h$  ориентировочно принято равным 35%;  $t^h$  – температура горячей воды в местах водоразбора или на границе балансовой принадлежности, для предварительных расчетов допускается принимать  $t^h = 65$  °С;  $t^c$  – температура в системе холодного водоснабжения, при отсутствии данных следует принимать  $t^c = 5$  °С.

Расход явной теплоты, содержащийся в удаляемом вентиляционном воздухе:

$$Q_B = c_B \cdot \rho \cdot L \cdot \Delta t / 3.6 \text{ кВт}, \quad (3)$$

где  $L$  – расход вентиляционного воздуха, принят на 1 чел., 30 м³/ч;  $c_B$  – теплоемкость, 1,03 кДж/(кг·°С);  $\rho$  – плотность воздуха, 1,2 кг/м³;  $\Delta t$  – температурный перепад, °С.

Среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение и расход явной теплоты содержащийся в удаляемом вентиляционном воздухе в зависимости от количества людей  
Average hourly heat consumption for hot water supply and sensible heat consumption taken from ventilation air depending on the number of people

| $U_i$ | $q_T^h$ | $Q^{hr}$ | $Q_T^h$ | $L$   | $Q_B$ | Обеспечение нагрузки ГВС |
|-------|---------|----------|---------|-------|-------|--------------------------|
| чел.  | м³/ч    | кВт      | кВт     | м³/ч  | кВт   | %                        |
| 50    | 0,15    | 3,55     | 13,70   | 1500  | 6,25  | 45,6                     |
| 100   | 0,29    | 7,11     | 27,41   | 3000  | 12,5  | 45,6                     |
| 150   | 0,44    | 10,66    | 41,11   | 4500  | 18,75 | 45,6                     |
| 200   | 0,58    | 14,21    | 54,81   | 6000  | 25    | 45,6                     |
| 250   | 0,73    | 17,76    | 68,51   | 7500  | 31,25 | 45,6                     |
| 300   | 0,88    | 21,32    | 82,22   | 9000  | 37,5  | 45,6                     |
| 400   | 1,17    | 28,42    | 109,62  | 12000 | 50    | 45,6                     |
| 500   | 1,46    | 35,53    | 137,03  | 15000 | 62,5  | 45,6                     |
| 600   | 1,75    | 42,63    | 164,43  | 18000 | 75    | 45,6                     |
| 700   | 2,04    | 49,74    | 191,84  | 21000 | 87,5  | 45,6                     |
| 800   | 2,33    | 56,84    | 219,24  | 24000 | 100   | 45,6                     |
| 900   | 2,63    | 63,95    | 246,65  | 27000 | 112,5 | 45,6                     |
| 1000  | 2,92    | 71,05    | 274,05  | 30000 | 125   | 45,6                     |

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Из данных таблицы видно, что предложенная установка может обеспечить 45,6% среднечасовой нагрузки на ГВС. Проведен расчет потенциала теплоты вытяжного воздуха на примере реального объекта – жилого многоквартирного дома с теплым чердаком в г. Владивостоке. В доме имеется 24 жилых этажа, по 10 квартир на каждом этаже, общая площадь одного этажа – 436 м².

В проектной документации воздухообмен определен по нормативно требуемым значениям вытяжки из кухни  $L_{кухня+}$  и сан. узлов  $L_{c/y,}$ . Воздухообмен для 10-ти квартир одного этажа – 1100 м³/ч, следовательно для всей жилой части здания

$$\sum L_{\text{проект}} = 110 * 24 = 26400, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Однако оценочное количество жителей в доме – 800 чел. В соответствии с нормами, при расходе воздуха 30 м³/чел этажа теоретическое количество воздуха, выходящего на теплый чердак – 29 520 м³/ч. В доме были проведены замеры параметров вытяжного воздуха в теплом чердаке [22] с декабря 2020 г. по март 2021 г. Замеры производились в течение двух дней каждого месяца – одного рабочего и одного выходного дня. В течение дня 4 раза измерялись расход, влажность и температура вытяжного воздуха в вентиляционных каналах, выходящих на теплый чердак. Время проведения замеров: 7–8 ч; 12–13 ч; 15–16 ч и 20–21 ч. По результатам анализа данных построены графики (рис. 2) и (рис. 3), на которых представлено сравнение теорети-

ческих, проектных и фактических расходов по выходным и рабочим дням.

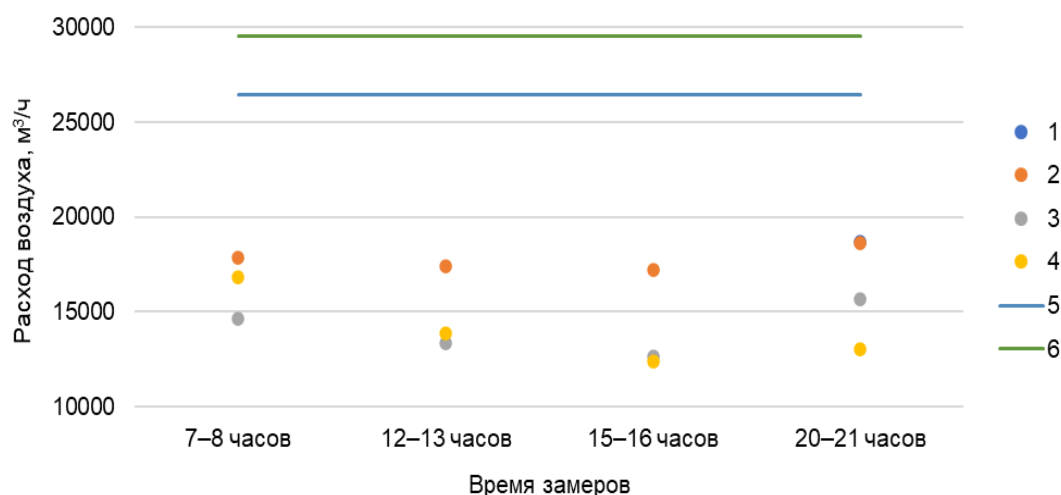
Как видно из графиков, общий расход воздуха, удаляемый из жилой части дома, меньше теоретического и заложенного в проекте. По результатам измерения он варьировался от 10 907,48 м³/ч до 21 368,27 м³/ч. Причины столь малого расхода могут быть следующие:

- герметично закрытые окна, не пропускающие приточный воздух в требуемом количестве;
- нарушение аэродинамики воздухопроводов, проектные ошибки;
- повышенное аэродинамическое сопротивление вентиляционных каналов, выполненных из строительных блоков и кирпичей, видны неровности и выступы строительной кладки внутри вентиляционных каналов;
- зависимость естественной вентиляции от скорости ветра, наружной температуры воздуха;
- в доме имеются не используемые, герметично закрытые квартиры.

При естественной тяге в существующей системе вентиляции значения проектного воздухообмена в жилой части дома не достигается.

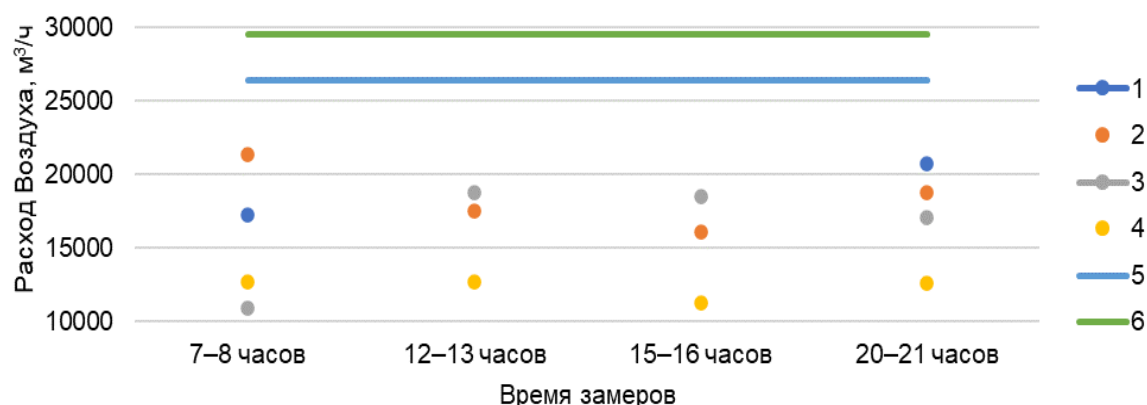
В данном исследовании не ставилась задача проанализировать причины несоответствия расхода вытяжного воздуха проектным значениям, но для наладки системы вентиляции такой анализ необходим.

Использование разработанной схемы утилизации теплоты вытяжного воздуха предполагает наличие вытяжных вентиляторов, которые можно использовать для стабилизации тяги в вытяжных каналах.



**Рис. 2.** График теоретических, проектных и фактических расходов воздуха по рабочим дням: 1 – 28.12.2020; 2 – 27.01.2021; 3 – 18.02.2021; 4 – 18.03.2021; 5 – проектный расход; 6 – теоретический расход

**Fig. 2.** schedule of theoretical, projected and actual air flow rates on weekends: 1 – Flow rate on 12/28/2020 working day, 2 – Flow rate on 01/27/2021 working day, 3 - Flow rate on 02/18/2021 working day, 4 - Flow rate on 03/18/2021 working day, 5 - design flow, 6 - theoretical flow



**Рис. 3.** График теоретических, проектных и фактических расходов воздуха по выходным дням: 1 – 26.12.2020; 2 – 31.01.2021; 3 – 28.02.2021; 4 – 21.03.2021; 5 – проектный расход; 6 – теоретический расход

**Fig. 3.** graph of theoretical, projected and actual air flow rates by working days: 1 – flow rate on 12/26/2020 working day, 2 – flow rate on 01/31/2021 working day, 3 – flow rate on 02/28/2021 working day, 4 – flow rate on 03/21/2021 working day, 5 – design flow, 6 – theoretical flow

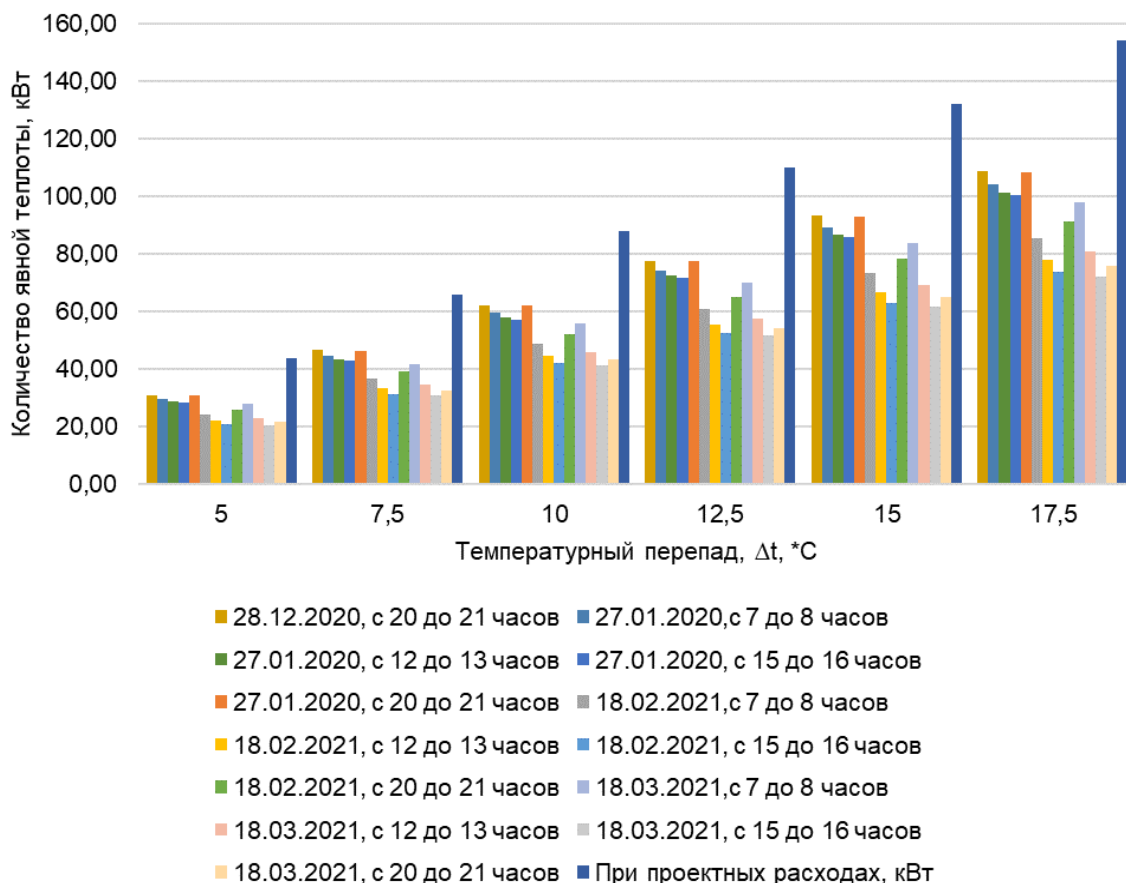
Проанализировано фактическое среднесуточное потребление теплоты системой ГВС за январь 2021 г.:

- по показаниям теплосчетчика, установленного в ИТП дома – 65,19 кВт;
- теплоте, потраченной на нагрев объема воды, поступающей на систему ГВС согласно показаниям расходомера, в ИТП дома – 49,09 кВт;
- по квитанции теплоснабжения на ГВС дома за январь – 56,55 кВт.

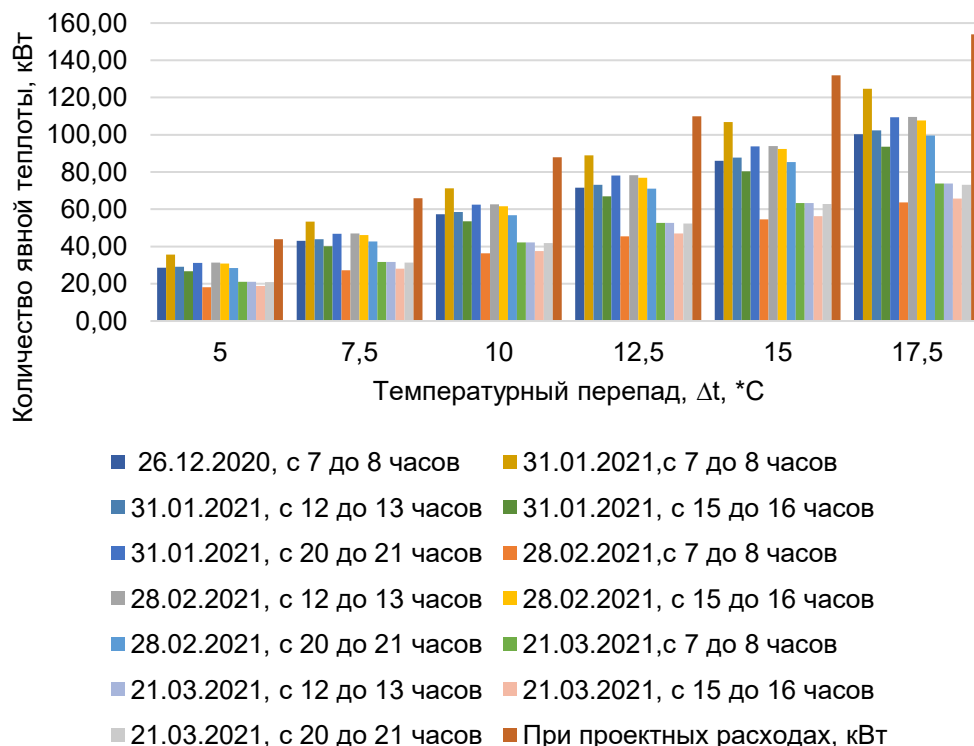
По результатам этих данных принято, что среднечасовой расход теплоты на ГВС составляет  $Q = 65,2$  кВт. В расчете по формуле (1) среднечасовой расход теплоты равен

219,24 кВт, что примерно на 70% больше фактического расхода. По результатам замеров средняя температура вытяжного воздуха составила  $23,3$  °C; для расчетов примем температуру равную  $23$  °C.

Для определения количества теплоты, снимаемого тепловым насосом (формула 3), заданы температурные перепады для вытяжного воздуха от  $5$  до  $17,5$  °C. При температурном перепаде в  $5$  °C воздушный поток после снятия теплоты будет иметь температуру  $18$  °C, при температурном перепаде  $17,5 - 5$  °C. Результаты расчетов представлены на рис. 5 и 6.



**Рис. 5.** Количество явной теплоты при фактических расходах в рабочие дни  
**Fig. 5.** The amount of sensible heat at actual costs on working days



**Рис. 6.** Количество явной теплоты при фактических расходах в выходные дни  
**Fig. 6.** The amount of sensible heat at actual costs on working days

На графиках (рис. 5 и 6) видно, что при фактических расходах и температурном перепаде  $\Delta t > 12,5^\circ\text{C}$  среднечасовой расход теплоты на горячее водоснабжение – 65,2 кВт/ч обеспечивается в большинстве случаев замеров.

При проектном и теоретическом расходе вытяжного воздуха количество теплоты, снимаемое с воздушного потока при температурном перепаде 12,5, равно 110 и 123 кВт соответственно.

Рассчитан годовой расход теплоты на ГВС  $Q_{hw}^y$  согласно руководству АВОК-8-2005<sup>1</sup>, который составляет 1667725 кВт\*ч за год.

Стоимость тепловой энергии на ГВС за год

$$C_{ГВС} = V_{hw}^y \cdot C_{ГВСм^3}, \text{ руб} \quad (4)$$

где  $V_{hw}^y$  – объем горячей воды за год, м<sup>3</sup>;  $C_{ГВСм^3}$  – стоимость 1 м<sup>3</sup> горячей воды для г. Владивостока,  $C=179,76$  (на первое полугодие 2022 г.).

Объем горячей воды:

$$V_{hw}^y = 3,6 \cdot Q_{hw}^y / (c_{воды}((t^h - t^c) \cdot \rho)), \text{ м}^3 \quad (5)$$

где  $t^c \cdot t^h$  – то же, что в формуле (1);  $\rho$  – плотность воды – 1000 кг/м<sup>3</sup>;  $c_{воды}$  – теплоемкость воды – 4,2 Дж/(кг\*°C);  $Q_{hw}^y$  – количество тепловой энергии, потребляемой системой горячего водоснабжения за год с учетом выключения системы на ремонт, кВт, определяют по формуле

$$V_{hw}^y = 23824,65 \text{ м}^3, C_{ГВС} = 4282719 \text{ руб.}$$

Приняв, что нагрев воды для ГВС будет происходить последовательно, сначала через теплообменник от теплового насоса с 5 до 40 °C (58,3% затрат теплоты от общей потребности нагрева), и далее через теплообменники от тепловой сети до 65 °C.

Стоимость нагрева воды до 40 °C:

$$C_{ГВС40} = C_{ГВС} \cdot (40 - 5) / (65 - 5) = 2\,498\,252 \text{ руб.}$$

Принято, что коэффициент преобразования теплового насоса при нагреве

воды до 40 °C – 4,4.

При этом для данного жилого дома применение разработанной схемы может дать экономию средств на теплоснабжение для ГВС до 1,5 млн руб. в год.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена схема использования теплоты вытяжного вентиляционного воздуха здания для нужд системы горячего водоснабжения, которая применима к уже существующим зданиям с теплым чердаком. Произведены замеры расхода и температуры вытяжного воздуха, проходящего через теплый чердак эксплуатируемого жилого здания, результаты замеров показывают типовую проблему зданий с естественной вентиляцией, когда воздухообмен не соответствует нормативным значениям.

Для решения этой проблемы необходимо определение причин малого воздухообмена для каждого конкретного здания, представленная схема рекуперации теплоты может являться частью комплексных мер по улучшению системы вентиляции.

Теоретическое значение обеспечения тепловой нагрузки на горячее водоснабжение за счет рекуперации теплоты вытяжного воздуха составляет порядка 45,6%. Этот процент также зависит от схемы подключения теплообменника от теплового насоса в тепловом узле дома и схемы автоматизации процесса передачи теплоты.

Проанализированы результаты замеров расхода вытяжного воздуха в существующем жилом здании, установлено, что его потенциала достаточно для обеспечения до 75% среднечасовой тепловой нагрузки на горячее водоснабжение.

Для данного жилого дома применение разработанной схемы может дать экономию средств на теплоснабжение для ГВС до 1,5 млн руб. в год, процент обеспечения теплотой ГВС от утилизации теплоты вытяжного воздуха – 58,3%.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шонина Н.А. Вентиляция для многоквартирных жилых зданий // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2013. № 6. С. 22–38.
2. Васильев Г.П. Энергоэффективный жилой дом в Москве // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 1999. № 4. С. 4–11.
3. Васильев Г.П. Энергоэффективный экспери-

- ментальный жилой дом в микрорайоне Никулино-2 // АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2002. № 4. С. 10–18.
4. Choi Y., Song D., Seo D., Kim J. Analysis of the variable heat exchange efficiency of heat recovery ventilators and the associated heating energy demand // Energy and Buildings. 2018. Vol. 172. P. 152–158.

<sup>1</sup>АВОК-8-2011 Руководство по расчету теплоснабжения эксплуатируемых жилых зданий // [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200094066> (29.10.2023).

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.066>.  
 5. Juodis E. Extracted ventilation air heat recovery efficiency as a function of a building's thermal properties // *Energy and Buildings*. 2006. Vol. 38. Iss. 6. P. 568–573. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.07.002>.  
 6. Hurnik M., Specjal A., Popiolek Z. On-site diagnosis of hybrid ventilation system in a renovated single-family house // *Energy and Buildings*. 2017. Vol. 149. P. 123–132. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.034>.  
 7. Lapertot A., Cuny M., Kadoch B., Le Métayer O. Optimization of an earth-air heat exchanger combined with a heat recovery ventilation for residential building needs // *Energy and Buildings*. 2021. Vol. 235. P. 110702. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110702>.  
 8. Martins N.R., Bourne-Webb P.J. Providing renewable cooling in an office building with a Ground-Source heat pump system hybridized with natural ventilation & personal comfort systems // *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 261. P. 111982. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111982>.  
 9. Dorizas P.V., Stamp S., Mumovic D., Keqin Ya., Makris-Makridis D., Lipinski T. Performance of a natural ventilation system with heat recovery in UK classrooms: An experimental study // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 179. P. 278–291. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.005>.  
 10. El Fouiha You., Stabat P., Rivière Ph., Hoanga Ph., Archambault V. Adequacy of air-to-air heat recovery ventilation system applied in low energy buildings // *Energy and Buildings*. 2012. Vol. 54. P. 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.008>.  
 11. Knissel J., Peußner D. Energy efficient heat exchanger for ventilation systems // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 159. P. 246–253. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.091>.  
 12. Khadra A., Hugosson M., Akander J., Myhren J.A. Economic performance assessment of three renovated multi-family buildings with different HVAC systems // *Energy and Buildings*. 2020. Vol. 224. P. 110275. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110275>.  
 13. Ji Yo., Wu W., Wang W., Fan Yu., Hu S. Heat transfer model of the front-end capillary heat exchanger of a subway source heat pump system //

*Energy and Buildings*. 2022. Vol. 255. P. 111665. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111665>.  
 14. Litiu A. Ventilation system types in some EU countries // *REHVA*. 2012. № 1 (49). P. 18–23.  
 15. Васильев Г.П. Зачем России энергоэффективность? // *АВОК: вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2021. № 8. С. 14–20.  
 16. Кокорин О.Я. Энергосбережение в системах отопления, вентиляции, кондиционирования. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2013. С. 238–252.  
 17. Patent no. 1999270924, Japan. Cooling, heating, hot-water supplying and ventilating device / S. Tetsuya, S. Minoru. Depose 23.03.1998; publ. 05.10.1999.  
 18. Patent no. 202006005469, Germany. Water preheating device for low-energy home, uses heat exchanger receiving heat from exhausted ventilation air and additional heat exchanger that is part of building heating system / P. Grosch Meyer. Depose 05.04.2006; publ. 27.07.2006.  
 19. Patent no. 2853829, EPO. Air-conditioning device and method for controlling such an air-conditioning device / C. Clint, R. William. Depose 24.09.2014; publ. 01.04.2015.  
 20. Patent no. 2253892A2, EPO. Method for using heat released through natural ventilation within a central heating system of a building and for producing hot water / L. Kruusel, I. Pihtjoe. Depose 07.05.2010; publ. 24.11.2010.  
 21. Пат. № 2761700 С1, РФ, МПК F24D 3/08 (2006.01), МПК F24D 3/08 (2006.01). Способ использования теплоты вытяжного вентиляционного воздуха здания для системы горячего водоснабжения и нужд отопления и система для его реализации / Е.К. Трухин, М.Ф. Харченко, Е.В. Тарасова. Заявл. 27.04.2021; опубл. 13.12.2021. 12 с.  
 22. Тарасова Е.В., Зырянов Е.А. Анализ воздухообмена в жилом многоквартирном здании в г. Владивостоке // *Молодежь и научно-технический прогресс: материалы региональной научно-практической конференции* (г. Владивосток, 01 мая – 30 июня 2021 г.). Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2021. С. 433–438.

## REFERENCES

1. Shonina N.A. Ventilation for multistory residential buildings. *AVOK: ventilyatsiya, otopenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika* = *ABOK: Engineers for heating, ventilation, air-conditioning, heat supply & building thermal physics*. 2013;6:22-38. (In Russ.).  
 2. Vasilyev G.P. Energy-efficient residential building in Moscow. *AVOK: ventilyatsiya, otopenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika* = *ABOK: Engineers for heating, ventilation, air-conditioning, heat supply & build-*

*ing thermal physics*. 1999;4:4-11. (In Russ.).  
 3. Vasilyev G.P. Energy-efficient experimental residential building in the Nikulino-2 microdistrict. *AVOK: ventilyatsiya, otopenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika* = *ABOK: Engineers for heating, ventilation, air-conditioning, heat supply & building thermal physics*. 2002;4:10-18. (In Russ.).  
 4. Choi Y., Song D., Seo D., Kim J. Analysis of the variable heat exchange efficiency of heat recovery ventilators and the associated heating energy de-

- mand. *Energy and Buildings*. 2018;172:152-158. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.066>.
5. Juodis E. Extracted ventilation air heat recovery efficiency as a function of a building's thermal properties. *Energy and Buildings*. 2006;38(6):568-573 <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.07.002>.
6. Hurnik M., Specjal A., Popiolek Z. On-site diagnosis of hybrid ventilation system in a renovated single-family house. *Energy and Buildings*. 2017;149:123-132. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.034>.
7. Lapertot A., Cuny M., Kadoch B., Le Métayer O. Optimization of an earth-air heat exchanger combined with a heat recovery ventilation for residential building needs. *Energy and Buildings*. 2021;235:110702. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110702>.
8. Martins N.R., Bourne-Webb P.J. Providing renewable cooling in an office building with a Ground-Source heat pump system hybridized with natural ventilation & personal comfort systems. *Energy and Buildings*. 2022. Vol. 261. P. 111982. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.111982>.
9. Dorizas P.V., Stamp S., Mumovic D., Keqin Ya., Makris-Makridis D., Lipinski T. Performance of a natural ventilation system with heat recovery in UK classrooms: An experimental study. *Energy and Buildings*. 2018;179:278-291. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.09.005>.
10. El Fouiha You., Stabat P., Rivière Ph., Hoanga Ph., Archambault V. Adequacy of air-to-air heat recovery ventilation system applied in low energy buildings. *Energy and Buildings*. 2012;54:29-39. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.008>.
11. Knissel J., Peußner D. Energy efficient heat exchanger for ventilation systems // *Energy and Buildings*. 2018. Vol. 159. P. 246–253. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.10.091>.
12. Khadra A., Hugosson M., Akander J., Myhren J.A. Economic performance assessment of three renovated multi-family buildings with different HVAC systems. *Energy and Buildings*. 2020;224:110275. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110275>.
13. Ji Yo., Wu W., Wang W., Fan Yu., Hu S. Heat transfer model of the front-end capillary heat exchanger of a subway source heat pump system. *Energy and Buildings*. 2022;255:111665. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111665>.
14. Litiu A. Ventilation system types in some EU countries. *REHVA*. 2012;1:18-23.
15. Vasilyev G.P. Why does Russia need energy efficiency? *AVOK: ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukh, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika = ABOK: Engineers for heating, ventilation, air-conditioning, heat supply & building thermal physics*. 2021;8:14-20. (In Russ.).
16. Kokorin O.Ya. Energy saving in heating, ventilation, air conditioning systems. Moscow: PH of the Association of Construction Universities; 2013. p. 238-252.
17. Tetsuya S., Minoru S. *Cooling, heating, hot-water supplying and ventilating device*. Patent Japan, no. 1999270924, 1999.
18. Grosch Meyer P. *Water preheating device for low-energy home, uses heat exchanger receiving heat from exhausted ventilation air and additional heat exchanger that is part of building heating system*. Patent Germany, no. 202006005469, 2006.
19. Clint C., William R. *Air-conditioning device and method for controlling such an air-conditioning device*. Patent EPO, no. 2853829, 2015.
20. Kruusel L., Pihtjoe I. *Method for using heat released through natural ventilation within a central heating system of a building and for producing hot water*. Patent EPO, no. 2253892A2, 2010.
21. Trukhin E.K., Kharchenko M.F., Tarasova E.V. *A method of using the heat of the exhaust ventilation air of a building for hot water supply and heating needs and a system for its implementation*. Patent RF, no. 2761700 C1, 2021.
22. Tarasova E.V., Zyryanov E.A. Analysis of air exchange in a residential multi-storey building in Vladivostok. *Molodezh' i nauchno-tekhnicheskii progress: materialy regional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Youth and scientific and technological progress: materials of a regional scientific and practical conference.*, 01 May – 30 June 2021, Vladivostok. Vladivostok: Far Eastern Federal University; 2021. p. 433-438.

#### Информация об авторах

**Зырянов Евгений Андреевич**,  
студент магистратуры,  
Дальневосточный федеральный университет,  
690922, г. Владивосток, о. Русский,  
п. Аякс, 10, Россия,  
e-mail: evgeniy12333@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-9289-1266>

#### Information about the authors

**Evgeny A. Zyryanov**,  
Graduate Student,  
Far Eastern Federal University,  
10 Ajax Bay, Russky Island,  
Vladivostok 690922, Russia,  
e-mail: evgeniy12333@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-9289-1266>

**Тарасова Елена Владимировна,**  
к.т.н., доцент департамента  
энергетических систем,  
Дальневосточный федеральный университет,  
690922, г. Владивосток, о. Русский,  
п. Аякс, 10, Россия,  
e-mail: tarasova.ev@dvfu.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0955-5363>

**Elena V. Tarasova,**  
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor  
of the Department of Energy Systems,  
Far Eastern Federal University,  
10 Ajax Bay, Russky Island,  
Vladivostok 690922, Russia,  
e-mail: tarasova.ev@dvfu.ru  
<https://orcid.org/0000-0003-0955-5363>

**Черненко Владимир Петрович,**  
к.т.н., доцент,  
профессор департамента энергетических  
систем,  
Дальневосточный федеральный университет,  
690922, г. Владивосток, о. Русский,  
п. Аякс, 10, Россия,  
e-mail: chernenkov.vp@dvfu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-0601-3342>

**Vladimir P. Chernenkov,**  
Cand. Sci. (Eng.),  
Associate Professor, Professor of the Department  
of Energy Systems,  
Far Eastern Federal University,  
10 Ajax Bay, Russky Island,  
Vladivostok 690922, Russia,  
e-mail: chernenkov.vp@dvfu.ru  
<https://orcid.org/0000-0002-0601-3342>

**Трухин Евгений Константинович,**  
студент магистратуры,  
Дальневосточный федеральный университет,  
690922, г. Владивосток, о. Русский,  
п. Аякс, 10, Россия,  
e-mail: 585654@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9746-4335>

**Evgeny K. Trukhin,**  
Graduate Student,  
Far Eastern Federal University,  
10 Ajax Bay, Russky Island,  
Vladivostok 690922, Russia,  
e-mail: 585654@mail.ru  
<https://orcid.org/0000-0001-9746-4335>

#### **Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации и несут ответственность за плагиат.

#### **Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Conflict of interests**

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The final manuscript has been read and approved by the co-authors.

#### **Информация о статье**

Статья поступила в редакцию 29.11.2022.  
Одобрена после рецензирования 16.12.2022.  
Принята к публикации 19.12.2022.

#### **Information about the article**

The article was submitted 29.11.2022.  
Approved after reviewing 16.12.2022.  
Accepted for publication 19.12.2022.