

DOI:10.6060/snt.20216501.0012

УДК 621.577.62:621.45.033

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНСТРУКЦИИ СМЕСИТЕЛЬНОЙ КАМЕРЫ ПРИ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЕ С ВОЗДУШНОЙ ТЕПЛОНАСОСНОЙ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ**

**С.В. Федосов, В. Н. Федосеев, В.А. Емелин**

Сергей Викторович Федосов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

E-mail: [fedosov-academic53@mail.ru](mailto:fedosov-academic53@mail.ru)

Вадим Николаевич Федосеев, Виктор Александрович Емелин

Ивановский государственный политехнический университет, г. Иваново, Россия

E-mail: [4932421318@mail.ru](mailto:4932421318@mail.ru) , [emelin.viktor@inbox.ru](mailto:emelin.viktor@inbox.ru)

В статье рассматривается конструкция и технология организации воздухообмена в камере смешения, встроенной в воздушную теплонасосную систему. В результате авторского исследования конструкция такого устройства позволяет повысить такие характеристики как эффективность работы перемешивающего устройства, определяющую интенсивность проведения процесса и равномерность распределения потоков по всей поверхности испарителя воздушного теплового насоса, а также улучшение условий процесса теплообмена. В данных условиях интенсификация процесса перемешивания приводит к оптимальному подбору геометрических размеров камеры и увеличению её производительности. Основным преимуществом технологии использования смесительной камеры, встроенной в систему воздушной теплонасосной системы жилого строения, является обеспечение за счет рациональной геометрической схемы дополнительного эффекта режима тепловой мощности.

Ключевые слова: воздушная теплонасосная система, испаритель, камера смешения, теплообмен, интенсивность, воздуховод

## **EFFICIENCY OF THE MIXING CHAMBER DESIGN WHEN WORKING TOGETHER WITH THE AIR HEAT PUMP SYSTEM OF HEAT SUPPLY OF PREMISES**

**S.V. Fedosov, V.N. Fedoseyev, V.A. Emelin**

Sergey Viktorovich Fedosov

Professor of the Department of technology of binders and concretes of the National research Moscow state University of construction, Moscow.

e-mail: [fedosov-academic53@mail.ru](mailto:fedosov-academic53@mail.ru)

Vadim Nikolaevich Fedoseyev, Viktor Aleksandrovich Emelin

Department of Production Organization and Urban Economy of the Ivanovo State Polytechnic University, Ivanovo.

E-mail: [4932421318@mail.ru](mailto:4932421318@mail.ru) , [emelin.viktor@inbox.ru](mailto:emelin.viktor@inbox.ru)

The article discusses the design and technology of organizing air exchange in a mixing chamber built into an air heat pump system. As a result of the author's research, the design of such a device makes it possible to increase such characteristics as the efficiency of the mixing device, which determines the intensity of the process and

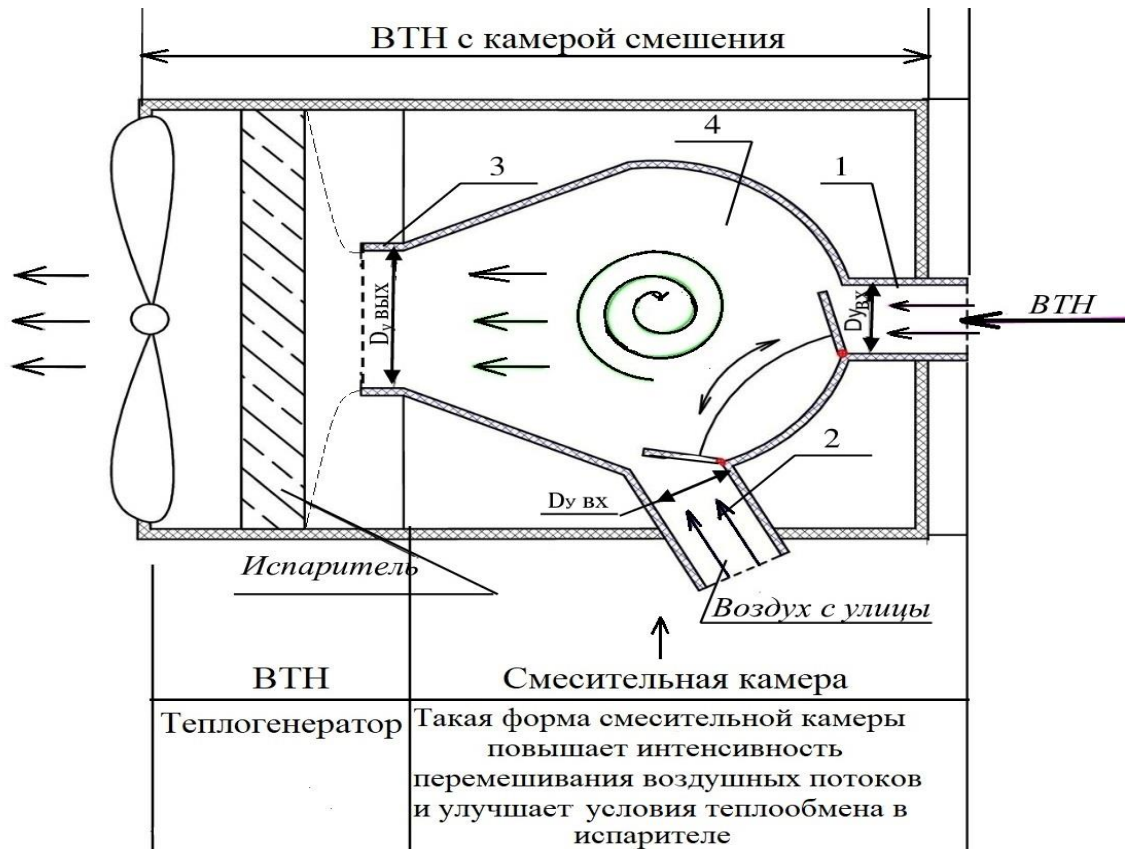
the uniformity of the distribution of flows over the entire surface of the evaporator of the air heat pump, as well as improving the conditions for the heat exchange process. Under these conditions, the intensification of the mixing process leads to the optimal selection of the geometric dimensions of the chamber and an increase in its productivity. The main advantage of the technology of using a mixing chamber built into the air heat pump system of a residential building is to provide an additional effect of the thermal power mode due to a rational geometric scheme.

**Keywords:** air heat pump system, evaporator, mixing chamber, heat exchange, intensity, duct

Отличительной чертой применения воздушного теплового насоса (ВТН) является то, что в качестве источника низкопотенциального тепла используют окружающий воздух [1,2].

В случае автономной установки такого устройства ВТН на улице, его использование становится слабо эффективным, особенно при низкой температуре наружного воздуха [3-6].

В данной работе важным технически-полезным решением авторов является разработка камеры смешения для ВТН [7], встроенной в систему воздушной теплонасосной системы самого строения, работа которой обеспечивает подачу равновесного напора воздушной смеси по всей поверхности теплообменника – испарителя (рис.1), обеспечивая теплоснабжение помещений [8-10].



**Рис.1.** Комбинированная теплонасосная система теплоснабжения со смесительной камерой

Само устройство смешения воздушных потоков (рис.2) работает следующим образом.

Поток воздуха при движении по входному патрубку воздуховода 1 (1-й поток) попадает в камеру, выполненную в

форме капсулы в виде полусферы 3, соединенной с большим основанием усеченного конуса 4, где при попадании в полусферу 3 меняется скорость с большей на меньшую.

Подача воздуха через патрубок 2 (2-й поток) происходит под углом в пределах  $0 \leq \alpha \leq 90$  к вертикали, тем самым повышая интенсивность перемешивания потока.

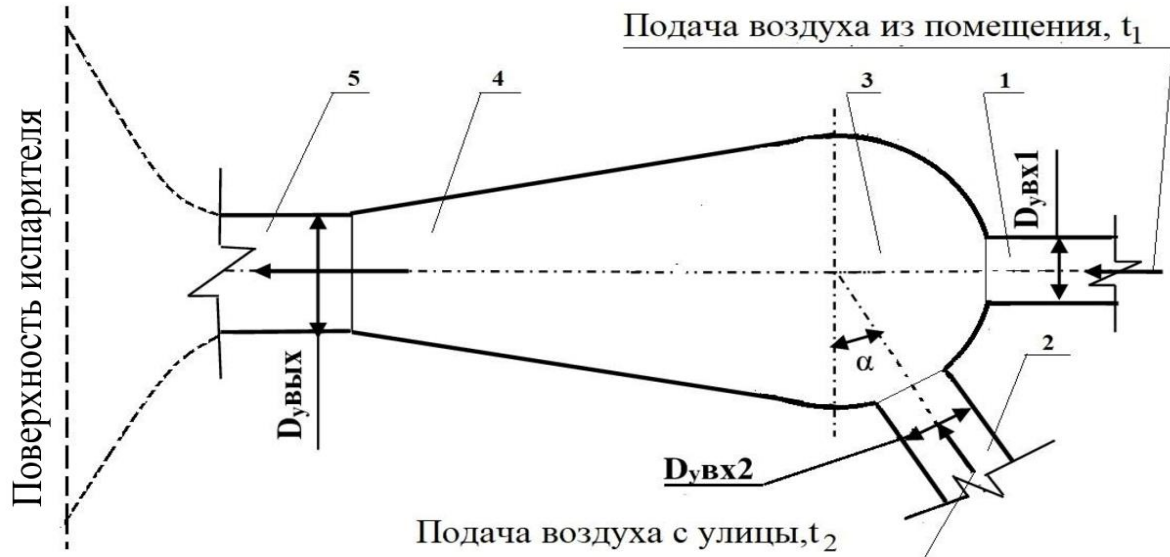


Рис.2. Устройство смешения воздушных потоков 1 и 2

Наибольшая интенсивность перемешивания смешанного воздушного потока происходит при попадании в зону усеченного конуса 4, а при попадании в цилиндрическую часть выходного патрубка воздуховода 5 совершается эффективное распределение потока по всей поверхности испарителя ВТН. Скорость

гомогенизированного потока перед выходом в цилиндрическую часть выходного патрубка воздуховода 5 повышается до исходной скорости основного потока воздуховода 1, равной скорости потока до входа в полусферу 3 по уравнению Бернулли:

$$\frac{pv^2}{2} + pgh + p = const \tag{1}$$

где  $\frac{pv^2}{2}$  – динамическое давление;

$pgh$  – гидростатическое давление;

$p$  – статическое давление.

Рассматривая сечения входного патрубка воздуховода 1, патрубка для подачи дополнительного потока 2 и выходного патрубка газохода 5, а также, применяя уравнения Бернулли, запишем:

$$\left( \frac{pv_{ex1}^2}{2} + p_{ex1}gh_{ex1} + p_{ex1} \right) + \left( \frac{pv_{ex2}^2}{2} + p_{ex2}gh_{ex2} + p_{ex2} \right) = \frac{pv_{вых}^2}{2} + p_{вых}gh_{вых} + p_{вых} \tag{2}$$

Так как давления  $p_{ex1}$ ,  $p_{ex2}$  и  $p_{вых}$  на уровнях сечений входного патрубка воздуховода 1, патрубка для подачи дополнительного потока 2 и выходного

патрубка воздуховода 5 равны атмосферному, т.е.  $p_{ex1} + p_{ex2} = p_{вых}$ , то уравнение (2) будет иметь вид:

$$\left( \frac{\rho v_{ex1}^2}{2} + p_{ex1} g h_{ex1} \right) + \left( \frac{\rho v_{ex2}^2}{2} + p_{ex2} g h_{ex2} \right) = \frac{\rho v_{вых}^2}{2} + p_{вых} g h_{вых} \quad (3)$$

Из уравнения неразрывности:

$$\frac{v_{ex}}{v_{вых}} = \frac{s_{ex1} + s_{ex2}}{s_{вых}} \rightarrow s_{вых} v_{ex} = (s_{ex1} + s_{ex2}) v_{вых}, \text{ где}$$

$s_{ex1}, s_{ex2}, s_{вых}$  – площади поперечных сечений патрубков воздухопроводов, а  $v_{ex} = v_{вых}$ , тогда  $s_{ex1} + s_{ex2} = s_{вых}$ . Выразив диаметры  $\frac{\pi d_{ex1}^2 + \pi d_{ex2}^2}{4} = \frac{\pi d_{вых}^2}{4}$ , получим:

$d_{ex1}^2 + d_{ex2}^2 = d_{вых}^2$  Допустим, что по заданным условиям  $d_{ex1}$  и  $d_{ex2}$  равны между собой, то, как пример, обозначим:  $d_{ex1} = d_{ex2} = 0,2 м$ , тогда

$$d_{вых} = \sqrt{d_{ex1}^2 + d_{ex2}^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,2^2} = 0,28 м.$$

Получим соотношение

$$\frac{d_{ex}}{d_{вых}} = \frac{0,2}{0,28} = 0,7, \text{ тогда } d_{ex1} = d_{ex2} = 0,7 d_{вых}$$

Предложенное средство позволяет повысить равновесную интенсивность перемешивания, улучшая условия теплообмена всей поверхности испарителя ВТН.

Что касается задаваемых геометрических параметров конфигурации смесительной камеры, то составляем ориентировочный расчет параметров капсулы ( $H, m$ ) и ( $R, m$ ), рис.3,  $s \cdot v = const$ ,  $d_{ex1} = d_{ex2} = d_{ex(общ)}$ . Тогда при условии, что

$$d_{ex1}^2 + d_{ex2}^2 = d_{вых}^2, \text{ получаем } d_{ex(общ)} = \frac{d_{вых}}{\sqrt{2}}, \text{ а}$$

$$d_{вых} = \sqrt{2} \cdot d_{ex(общ)}$$

$$s_{ex1} \cdot v_{ex1} + s_{ex2} \cdot v_{ex2} = s_{вых} \cdot v_{вых} \quad (4)$$

Считая, что векторы скоростей  $\bar{v}_{ex(общ)} = \bar{v}_{ex1} = \bar{v}_{ex2}$ , получим:

$$s_{ex(общ)} \cdot v_{ex(общ)} = s_{вых} \cdot v_{вых} \Rightarrow v_{ex(общ)} = \frac{s_{вых} \cdot v_{вых}}{s_{ex(общ)}} \quad (5)$$

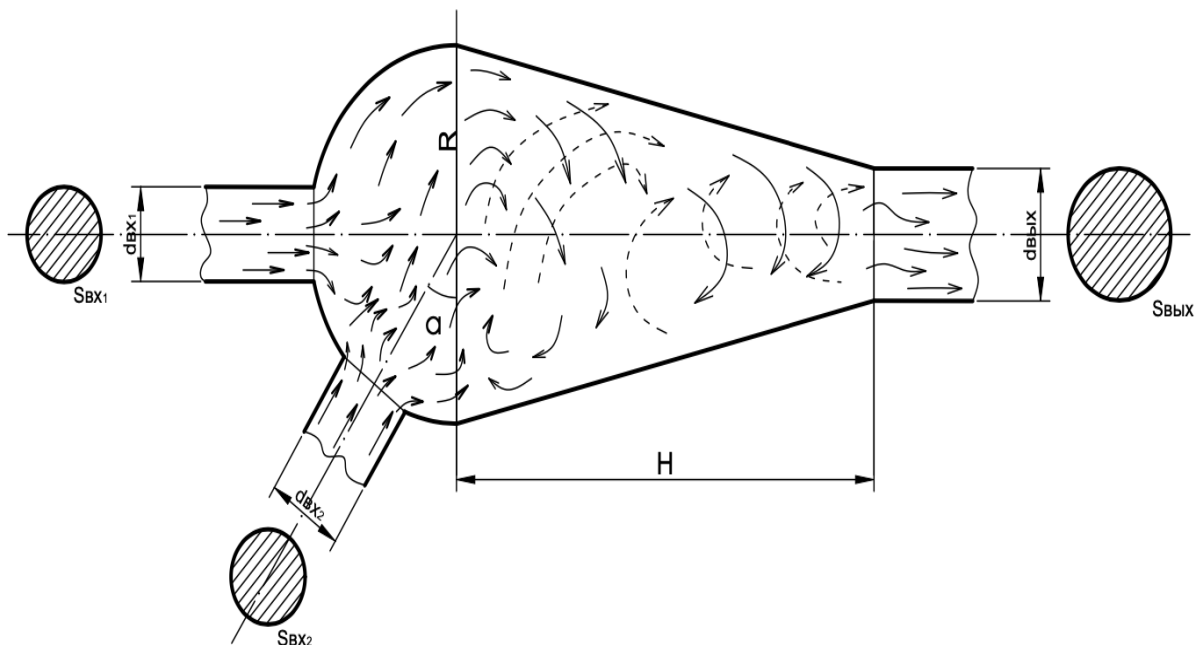


Рис.3. Картина смешения воздушных потоков

Далее в силу конструктивных особенностей установки наблюдается процесс уменьшения скорости общего потока при попадании в камеру усеченного конуса в 2 раза, что соответствует увеличению площади сечения патрубка  $s_{вых}$  в 2 раза и весь сформированный поток

направляется на поверхность испарителя ВТН.

Так как  $s \propto \frac{1}{v}$ , то чтобы уменьшить  $v$  в 2 раза, необходимо увеличить  $s$  в 2 раза, то есть  $s_{вых} = s_{ex(общ)}$ .

$$s_{вых} = \frac{\pi d_{вых}^2}{4} = \frac{\pi d_{ex(общ)}^2}{4} \cdot 2$$

$$2 \cdot s_{вых} = \frac{\pi d_{ex}^2}{4} \cdot 2 = \pi d_{ex}^2 = \pi R^2 = d_{ex}^2 \quad (6)$$

Объем сферы  $V_{сф.} = \frac{4}{3} \pi R^3$ , объем полусферы  $V_{н.сф.} = \frac{2}{3} \pi R^3$ .

Примем объем полусферы равной объему усеченного конуса  $V_{н.сф.} = V_{у.кон.}$ :

$$\frac{2}{3} \pi R^3 = \frac{1}{3} \pi H \left[ R^2 + R \frac{d_{вых.}}{2} + \left( \frac{d_{вых.}}{2} \right)^2 \right] \Rightarrow 2R^3 = H \left( R^2 + R \frac{d_{вых.}}{2} + \frac{d_{вых.}^2}{4} \right)$$

$$H = \frac{2R^3}{R^2 + R \frac{d_{вых.}}{2} + \frac{d_{вых.}^2}{4}} = \frac{8R^3}{4R^2 + 2Rd_{вых.} + d_{вых.}^2} = \left| \frac{R = d_{ex(общ)}}{d_{вых.} = d_{ex(общ)} \cdot \sqrt{2}} \right| =$$

$$= \frac{8d_{ex(общ)}^3}{(2d_{ex(общ)})^2 + 2d_{ex(общ)}d_{ex(общ)}\sqrt{2} + 2d_{ex(общ)}^2} = \frac{8d_{ex(общ)}^3}{d_{ex(общ)}^2(4 + 2\sqrt{2} + 2)} = \frac{8d_{ex(общ)}}{6 + 2\sqrt{2}} = \frac{4d_{ex(общ)}}{3 + \sqrt{2}} \approx \quad (7)$$

$$\approx \frac{4}{4,4} d_{ex} = \frac{d_{ex}}{1,1} = 0,9d_{ex}, м$$

С учетом  $d_{ex(общ)} = \frac{d_{вых.}}{\sqrt{2}}$ ,  $H = \frac{4d_{ex(общ)}}{3 + \sqrt{2}} = \frac{4 \frac{d_{вых.}}{\sqrt{2}}}{3 + \sqrt{2}} = \frac{2\sqrt{2}d_{вых.}}{3 + \sqrt{2}} = \frac{4d_{вых.}}{3\sqrt{2} + 2}$ , получаем условие

$$d_{ex(общ)} \leq H \leq 2d_{ex(общ)}$$

Наибольшая интенсивность перемешивания потоков происходит при попадании в зону усеченного конуса камеры.

Длина этого участка будет равна

$$H = \frac{4d_{ex(общ)}}{3 + \sqrt{2}} = \frac{4d_{вых.}}{3\sqrt{2} + 2}, м$$

Таким образом, при попадании в цилиндрическую часть выходного патрубка гомогенизированный поток далее

распределяется по всей поверхности испарителя при соблюдении условий:

$$d_{ex(общ)} \leq H \leq 2d_{ex(общ)}, \quad \text{т.е.:} \quad R = d_{ex(общ)},$$

$$H = \frac{4d_{ex(общ)}}{3 + \sqrt{2}}, м$$

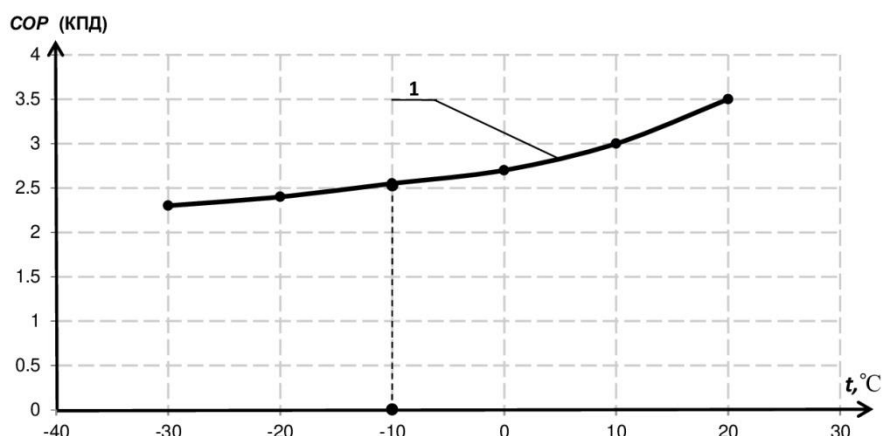
Следовательно, технология использования предлагаемой конструкции смесительной камеры, встроенной в систему воздушной теплонасосной системы, позволяет обеспечить за счет

---

---

рациональной геометрии дополнительный  
эффект тепловой мощности ВТН при

температуре на улице до  $-10^{\circ}\text{C}$  (рис.4).



**Рис.4. График работы воздушного теплового насоса со встроенной смесительной камерой:  
1 – ВТН;  $W_{30^\circ\text{C}}$  – нагрев воды для отопления**

Согласно проводимым испытаниям, на графике (рис.4) отражена эффективность работы комбинированной воздушной теплонасосной системы.

### Вывод

Совместная работа теплонасосной установки (системы) с предлагаемой смесительной камерой обеспечивает более высокую теплопроизводительность ВТН до  $-10^\circ\text{C}$  воздуха (рис.4) на улице, сохраняя допустимую эффективность COP до 2,5 [11].

### ЛИТЕРАТУРА

1. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Емелин В.А. Термодинамический процесс агрегатно-теплового преобразования теплохолодильных систем. Строительство и техногенная безопасность. №18 (70) – 2020. С. 123-131.
2. Патент РФ № RU 27196112 С1. *Теплогенератор* / Федосеев В.Н., Емелин В.А., Воронов В.А., Зайцева И.А., Свиридов И.А.; Заявка № 2019121729 от 09.07. 2019. Опубл. 21.04. 2020.
3. Воронов В.А., Емелин В.А., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. [Климатические условия и факторы, влияющие на производительность воздушного теплового насоса](#) // [Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений](#). Сборник научных трудов. - 2015. С. 241- 251.
4. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Виноградова Н.В., Воронов В.А., Емелин В.А. Теплопотери и теплоприток при совместной работе смесительной камеры и воздушно-теплового

насоса в малоэтажных строениях / [Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности](#). 2017. № 4 (370). С. 209-213.

5. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Виноградова Н.В. Количественный анализ конфигурации коэффициента эффективности и тепловой мощности воздушного теплового насоса при отоплении малоэтажных текстильных строений // [Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности](#). 2017. № 5 (371). С. 319- 323..

6. Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Виноградова Н.В., Емелин В.А., Воронов В.А. [Сравнительный анализ комбинированных режимов работы ВТН для малоэтажных строений в текстильной отрасли](#) // [Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности](#). - 2017. № 5 (371). С. 324-328.

7. Патент РФ № 185689. *Средство для смешения газовых потоков* / Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Емелин В.А., Воронов В.А., Свиридов И.А.; Заявл. От 24.01. 2018. Опубл. 13.12.2018. Бюл. № 35.

8. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б. Эффективное энергосбережение многоэтажных строений воздушным тепловым насосом. БСТ: Бюллетень строительной техники. 2020. № 2 (1026). С. 50-53.

9. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. Цифровая модульно-структурная схема воздушной теплогенерации в малоэтажных строениях / Актуальные проблемы строительной отрасли и образования [Электронный ресурс]: сборник докладов Первой Национальной конференции (г. Москва, 30 сентября 2020 г.); Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный

строительный университет, управление научной политики. – Москва.: Издательство МИСИ – МГСУ, 2020, С. 908-914.

10. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Емелин В.А. Высотехнологическая система воздушного теплового насоса «три в одном» для малоэтажных и коттеджных строений. ПРИБОРЫ. 2020. № 2 (236). С. 49-53.

11. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. Рециркуляционный воздушный тепловой насос с рекуперацией: опыт применения. АВOK: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. 2020. №8.С. 54-57.

#### REFERENCES

1. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Emelin V.A. Termodinamicheskij process agregatno-teplovogo preobrazovaniya teploholodil'nyh sistem. Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'. №18 (70) – 2020. S.123-131.

2. Patent RF № RU 27196112 S1. Teplogenerator / Fedoseev V.N., Emelin V.A., Voronov V.A., Zajceva I.A., Sviridov I.A.; Zayavka № 2019121729 ot 09.07. 2019, Opubl. 21.04. 2020.

3. Voronov V.A., Emelin V.A., Fedoseev V.N., Zajceva I.A. Klimaticheskie usloviya i faktory, vliyayushchie na proizvoditel'nost' vozdušnogo teplovogo nasosa // Teoriya i praktika tekhnicheskikh, organizacionno-tekhnologicheskikh i ekonomicheskikh reshenij. Sbornik nauchnyh trudov. – 2015. S. 241–251.

4. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Vinogradova N.V., Voronov V.A., Emelin V.A. Teplopoteri i teplopritok pri sovmestnoj rabote smesitel'noj kamery i vozdušno-teplovogo nasosa v maloetazhnyh stroeniyah / Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2017. № 4 (370). S. 209-213.

5. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Zajceva I.A., Vinogradova N.V. Kolichestvennyj analiz konfiguracii koefficienta effektivnosti i teplovoj

moshchnosti vozdušnogo teplovogo nasosa pri otopenii maloetazhnyh tekstil'nyh stroenij // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. 2017. № 5 (371). S. 319–323.

6. Aloyan R.M., Fedoseev V.N., Zajceva I.A., Vinogradova N.V., Emelin V.A., Voronov V.A. Sravnitel'nyj analiz kombinirovannyh rezhimov raboty VTN dlya maloetazhnyh stroenij v tekstil'noj otrasli // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti. – 2017. № 5 (371). S. 324–328.

7. Patent RF № 185689. Sredstvo dlya smesheniya gazovyh potokov / Fedoseev V.N., Petruhin A.B., Emelin V.A., Voronov V.A., Sviridov I.A.; Zayavl. Ot 24.01. 2018, Opubl. 13.12.2018. Byul. № 35.

8. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Petruhin A.B. Effektivnoe energosberezhenie mnogoetazhnyh stroenij vozdušnym teplovym nasosom. BST: Byulleten' stroitel'noj tekhniki. 2020.№ 2 (1026).S 50–53.

9. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zajceva I.A. Cifrovaya modul'no-strukturnaya skhema vozdušnoj teplogeneracii v maloetazhnyh stroeniyah / Aktual'nye problemy stroitel'noj otrasli i obrazovaniya [Elektronnyj resurs]: sbornik dokladov Pervoj Nacional'noj konferencii (g. Moskva, 30 sentyabrya 2020 g.); Ministerstvo nauki i vysshego obrazovaniya Rossijskoj Federacii, Nacional'nyj issledovatel'skij Moskovskij gosudarstvennyj stroitel'nyj universitet, upravlenie nauchnoj politiki. – Moskva.: Izdatel'stvo MISI – MGSU, 2020, S. 908-914.

10. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zajceva I.A., Emelin V.A. Vysokotekhnologicheskaya sistema vozdušnogo teplovogo nasosa «tri v odnom» dlya maloetazhnyh i kottedzhnyh stroenij. ПРИБОРЫ. 2020. № 2 (236). С. 49-53.

11. Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zajceva I.A. Recirkulyacionnyj vozdušnyj teplovoj nasos s rekuperaciej: opyt primeneniya. AVOK: Ventilyaciya, otopenie, kondicionirovanie vozduha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika. 2020.№8.S. 54-57.