

**КОМПЛЕКСНОЕ ТЕПЛОБЕСПЕЧЕНИЕ И УСТОЙЧИВОЕ СОСТОЯНИЕ
ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ СРЕДЫ ВНУТРИ ПОМЕЩЕНИЯ
С УРОВНЕМ КАЧЕСТВА CO_2**

Федосов С.В., Федосеев В.Н., Воронов В.А., Логинова С.А., Емелин В.А.

Федосов Сергей Викторович

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет,
г. Москва, Россия. 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26.

E-mail: fedosov-academic53@mail.ru

Федосеев Вадим Николаевич, Воронов Владимир Андреевич, Емелин Виктор Александрович

Ивановский государственный политехнический университет,

г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, д. 21.

E-mail: 4932421318@mail.ru

Логинова Светлана Андреевна

Ярославский государственный технический университет,

г. Ярославль, Россия. 150023, г. Ярославль, Московский пр., д.88.

E-mail: sl79066171227@yandex.ru

Учитывая сложившуюся ситуацию с распространением вирусной инфекции, существенно повысились требования к вентиляции помещений в зданиях. Воспринимаемое состояние воздуха в основном зависит от влажности и температуры вдыхаемого воздуха в соответствии с понятием энтальпии воздуха, которая оказывает сильное воздействие на требования, предъявляемые к вентиляции. Исследования ученых показывают, что ограниченное воздействие температуры и влажности воздуха на дыхательные пути и, стало быть, на воспринимаемое человеком качество воздуха намного сильнее, чем тепловые ощущения его тела. До настоящего времени считалось, что для обеспечения качественной вентиляции необходимы высокие нормы воздухообмена, при этом не уделялось большого значения устройству систем вентиляции и тому факту, что теплоограждающие конструкции помещений также является источником нездоровых включений. Рост углекислого газа в атмосфере вызывает необходимость требуемой интенсивности воздухообмена с использованием в качестве индикатора качества воздуха уровень концентрации углекислого газа. По концентрации CO_2 можно судить о содержании других вредных веществ, выделяемых человеком. Углекислый газ является токсичным для человека даже в относительно низких концентрациях, поэтому наилучшим показателем для человека в помещении является уровень углекислого газа, приближенный к концентрации CO_2 окружающего воздуха. Уровень концентрации углекислого газа выбран потому, что его концентрацию легко измерить с достаточно высокой точностью и его массовое выделение значительно больше других вредных веществ. Добавляя в помещении свежий приточный воздух, добиваемся снижение содержания CO_2 с одновременным снижением уровня концентрации других веществ. В статье рассматривается рациональный подход к достижению тепловлажностного режима приточного наружного воздуха с требуемой очисткой от углекислого газа. С применением рекуперативного теплообменника для подогрева наружного воздуха внутренним вытяжным воздухом из помещения и с дальнейшей подачей его вентилятором на испаритель, достигается эффективный воздухообмен с удалением избытков теплоты, постоянство температурно-влажностного режима с соблюдением эпидемиологической антивирусной безопасности. Комплексное сочетание воздушно-тепловой установки со смесительной камерой и приточной рекуперационной вентиляционной системой для частичного замещения вентиляции, с постоянным контролем концентрации CO_2 и с полностью адаптивным управлением в помещениях с пребыванием людей, делает возможным очистку внутреннего воздуха от углекислого газа с повышением качества воздухообмена.

Ключевые слова: воздухообмен, вентиляция, воздушные теплонасосные системы, тепловлажностный режим, теплогенерация, углекислый газ

INTEGRATED HEAT SUPPLY AND STABLE CONDITION OF THE HEAT AND HUMIDITY ENVIRONMENT INDOORS WITH A QUALITY LEVEL CO_2

Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Voronov V.A., Loginova S.A., Emelin V.A.

Fedosov Sergey Viktorovich

National Research Moscow State University of Civil Engineering,
Moscow, Russia. 129337, Moscow, Yaroslavl highway, 26.

E-mail: fedosov-academic53@mail.ru

Fedoseev Vadim Nikolaevich, Voronov Vladimir Andreevich, ²Emelin Viktor Alexandrovich
Ivanovo State Polytechnic University,

Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 21.

E-mail: 4932421318@mail.ru

Loginova Svetlana Andreevna

Yaroslavl State Technical University,

Yaroslavl, Russia. 150023, Yaroslavl, Moskovsky pr., 88.

E-mail: sl79066171227@yandex.ru

Taking into account the current situation with the spread of viral infection, the requirements for ventilation of premises in buildings have significantly increased. The perceived state of the air mainly depends on the humidity and temperature of the inhaled air in accordance with the concept of air enthalpy, which has a strong impact on the requirements for ventilation. Research by scientists shows that the limited effect of temperature and humidity on the respiratory tract and, therefore, on the perceived air quality of a person is much stronger than the thermal sensations of his body. Until now, it was believed that high standards of air exchange were necessary to ensure high-quality ventilation, while not paying much attention to the device of ventilation systems and the fact that heat-insulating structures of premises are also a source of unhealthy inclusions. The growth of carbon dioxide in the atmosphere necessitates the required intensity of air exchange with the use of the level of carbon dioxide concentration as an indicator of air quality. The concentration can be used to judge the content of other harmful substances released by humans. Carbon dioxide is toxic to humans even in relatively low concentrations, so the best indicator for a person in a room is the level of carbon dioxide close to the concentration in the ambient air. The level of carbon dioxide concentration is chosen because its concentration is easy to measure with sufficiently high accuracy and its mass release is much greater than other harmful substances. By adding fresh supply air to the room, we achieve a reduction in the content while simultaneously reducing the concentration of other substances. The growth of carbon dioxide in the atmosphere necessitates the required intensity of air exchange with the use of the level of carbon dioxide concentration as an indicator of air quality. The concentration CO_2 can be used to judge the content of other harmful substances released by humans. Carbon dioxide is toxic to humans even in relatively low concentrations, so the best indicator for a person in a room is the level of carbon dioxide close to the concentration CO_2 in the ambient air. The level of carbon dioxide concentration is chosen because its concentration is easy to measure with sufficiently high accuracy and its mass release is much greater than other harmful substances. By adding fresh supply air to the room, we achieve a reduction CO_2 in the content while simultaneously reducing the concentration of other substances. The article considers a rational approach to achieving a heat and humidity regime of the supply outdoor air with the required purification from carbon dioxide. With the use of a regenerative heat exchanger for heating the outdoor air with internal exhaust air from the room and with its further supply by a fan to the evaporator, effective air exchange is achieved with the removal of excess heat, the constancy of the temperature and humidity regime in compliance with epidemiological anti-virus safety. The complex combination of an air-heat installation with a mixing chamber and an incoming recuperative ventilation system for partial replacement of ventilation, with constant concentration control CO_2 and fully adaptive control in rooms with

people staying, makes it possible to purify the indoor air from carbon dioxide with an increase in the quality of air exchange.

Keywords: air exchange, ventilation, air heat pump systems, heat and humidity regime, heat generation, carbon dioxide

В работе [1-2], согласно расчетам состояния тепловлажностного режима помещения с учетом приточно-вытяжной системы, совмещенной с воздушно-тепловым насосом, получены параметры, которые соответствуют ГОСТ и СанПиН, регламентирующим минимально относительную влажность в диапазоне 40%–60% [3-4]. В итоге полученных результатов становится необходимым проанализировать и установить влияние изменения температуры внутри помещения при совместном функционировании воздушных теплонасосных систем и приточно-вытяжной вентиляции в помещении, которые соблюдая расчетную температуру и энтальпию должны обеспечивать постоянство температурного влажностного режима внутри помещения.

Уровень эффективности воздушно-тепловой комфортности помещения, обусловленный аэродинамической устойчивостью теплонасосной системы отопления и сбалансированным теплообменом приточного вытяжного

воздуха практически обосновывает энергосберегающую теплогенерацию, соответствующую коэффициенту эффективности $COP=2,5 \div 4,0$ [5].

В ранее опубликованных работах было проанализировано состояние воздушных потоков, поступающих в помещение через смесительную камеру, встроенную в отопительную воздушную теплонасосную систему [6]. Применение смешанного потока воздуха, образованного внутренним вытяжным состоянием помещения и наружного (с улицы) с подачей вентилятором на испаритель, становится важным фактором для постоянства температурно-влажностного режима в помещении строения [7-10].

На рисунке 1 приведены сравнительные результаты экспериментальных расчетов поступающих воздушных потоков в тепловой насос при температуре помещения $20^{\circ}C \div 22^{\circ}C \div 24^{\circ}C$ [5].

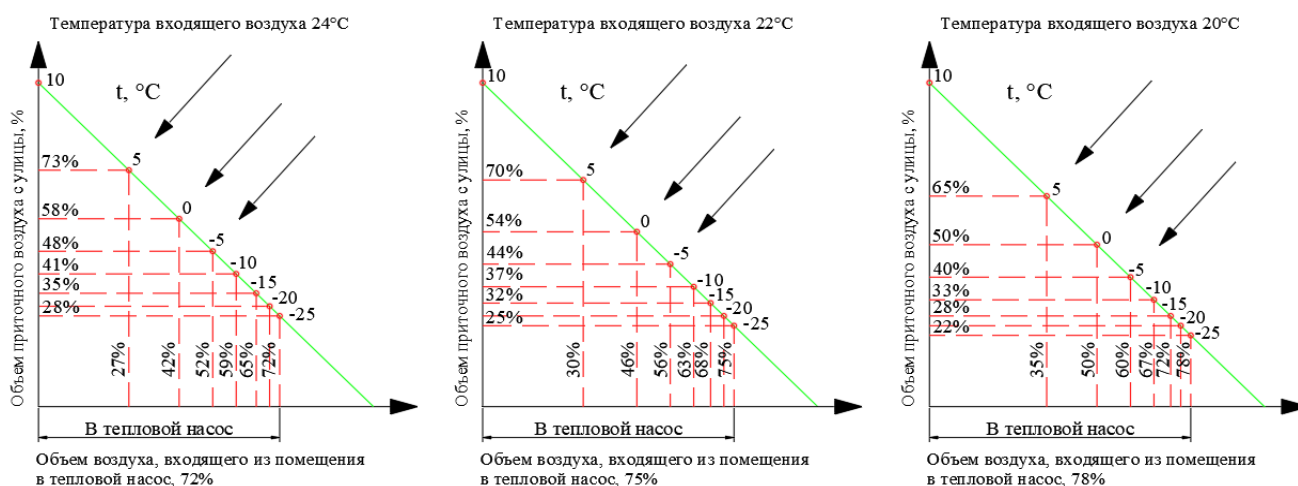


Рис. 1. Пропорции поступающего воздуха на испаритель теплового насоса при $t=+20,22$ и $24^{\circ}C$
 Fig. 1. Proportions of incoming air to the heat pump evaporator at $t=+20,22$ and $24^{\circ}C$

Согласно расчетных данных эксперимента можно считать, что пропорции поступающего воздуха на испаритель ВТН из помещения и снаружи не влияют настолько, чтобы значительно изменить коэффициент эффективности (COP) теплового насоса, что подтверждает программно-термодинамический расчет, рис. 2 [2]. Пользуясь расчетными параметрами теп-

ловлажностного режима потоков воздухообмена в помещении, наглядно обозначим согласно алгоритму и программному расчету параметры COP и энтальпию [2], рис. 2. В табл. 1 и графиках на рис.3. приведены результаты расчета коэффициента эффективности (COP) для теплонасосной системы с тепловой мощностью 7кВт [11], при температуре воздуха в помещении

24°C÷22°C÷20°C Воздух, являясь смесью газов, в котором углекислый газ CO_2 занимает по порядку лишь четвертое место, имеет важнейшее значение для всего живого. Данные о количестве CO_2 позволяют сделать вывод о присут-

ствии других веществ и применить эти данные, анализируя состояние качества окружающего воздуха. Измерение уровня концентрации углекислого газа осуществляется в промилле (ppm).

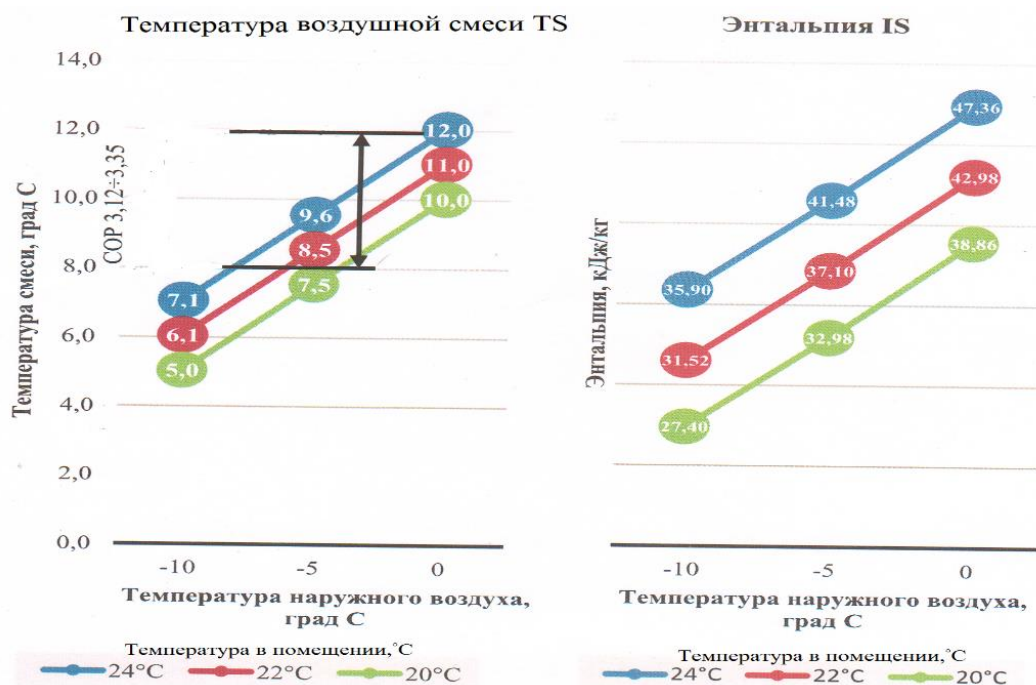


Рис. 2. Сравнительный анализ расчета
Fig. 2. Comparative analysis of the calculation

Таблица 1.

Результаты расчета коэффициента эффективности (COP) для теплонасосной системы
Table 1. The results of the calculation of the coefficient of efficiency (COP) for the heat pump system

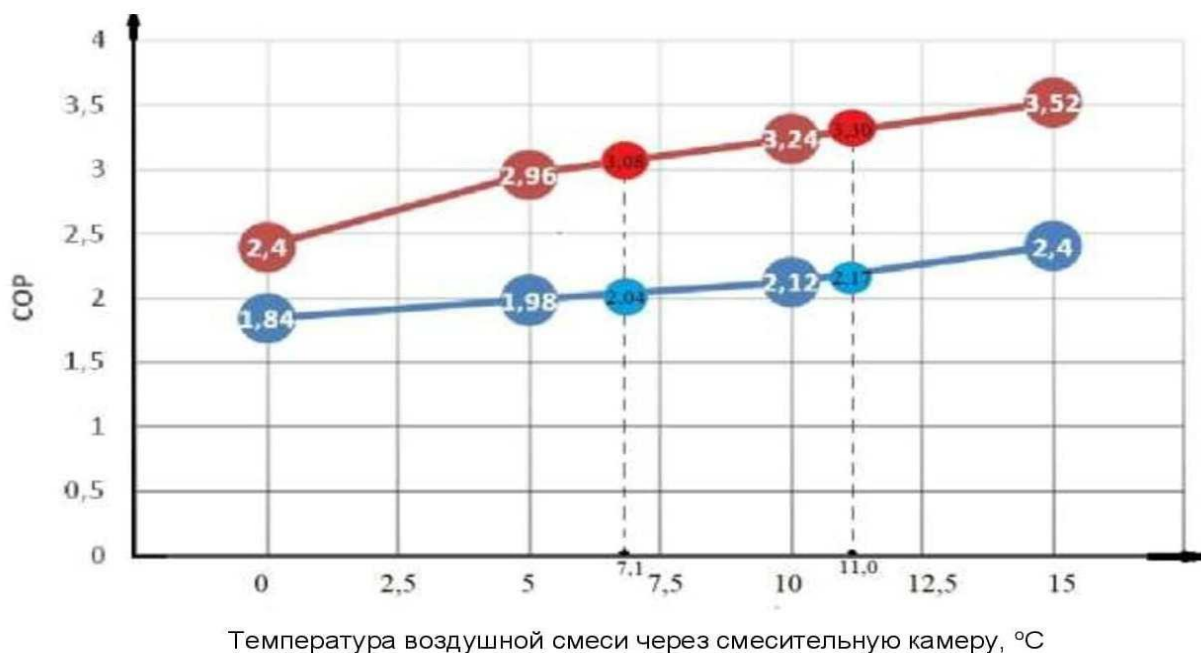
Температура воздуха из помещения, °С.	Температура воздушной смеси, °С	Значение COP для режима нагрева теплоносителя до 35°C	Значение COP для режима нагрева теплоносителя до 55°C
24	7,1	3,08	2,04
24	9,6	3,22	2,10
24	12,0	3,35	2,23
22	6,1	3,02	2,01
22	8,5	3,15	2,08
22	11,0	3,30	2,17
20	5,0	2,96	1,98
20	7,5	3,10	2,04
20	10,0	3,24	2,12

При определённом превышении уровня человек ощущает духоту, усталость, сонливость, потерю концентрации внимания, раздражительность [12-14], таблица 2.

Человек, находясь в помещениях с незначительной вентиляцией, начинает достаточно интенсивно поглощать кислород O_2 , соот-

ветственно выдыхая при этом значительное количество углекислого газа.

Именно поэтому к изменениям концентрации CO_2 в воздухе, человек очень чувствителен.



На выходе теплонасосной системы

- Режим нагрева теплоносителя (воды) для отопления помещения до 55°C
- Режим нагрева теплоносителя (воды) для отопления помещения до 35°C

Рис. 3. Расчет значений COP
Fig. 3. Calculation of SOR values

Таблица 2.

Уровень концентрации углекислого газа в окружающем воздухе
Table 2. The level of carbon dioxide concentration in the ambient air

Параметрическая концентрация CO_2 в окружающем воздухе, ppm		
350	450	700
Лесной чистый воздух	Нормальный воздух на улице	Допустимый уровень в помещении

Если уровень CO_2 в помещении превышает 600–800 ppm, то начинают возникать такие симптомы как:

- ✓ ощущение нехватки свежего воздуха;
- ✓ головная боль;
- ✓ усталость;
- ✓ головокружение;
- ✓ плохая координация внимания;
- ✓ апатия;
- ✓ ощущение жара;

- ✓ раздражение слизистой глаз;
- ✓ плохой сон.

Пребывание человека в помещении с высоким содержанием CO_2 ведёт к негативным последствиям, поэтому очень важно уделять внимание реальной приточной вентиляции помещений. Удобным и эффективным методом регулирования CO_2 является измеритель-регулятор (детектор) углекислого газа CO_2 .

Принцип действия состоит в изменении световой волны инфракрасного излучения, которая меняется под воздействием концентрации газа. Инфракрасный светодиод выполняет эту роль. (Длина волны ИК-излучения не воспринимается человеком). Измеритель-регулятор углекислого газа CO_2 – предназначен для измерения содержания CO_2 в воздухе и для управления устройством приточной вентиляции (вкл/выкл устройства для повышения содержания приточного воздуха). Поддерживая необходимый уровень CO_2 в помещении, прибор с датчиком, подбирают для жилых помещений любой площади. Датчик-прибор CO_2 встраивают в воздуховод и размещен в любом удобном месте.

Совместное применение данной системы позволяет организовать максимально энергоэффективную систему вентиляции с минимальными эксплуатационными издержками и полностью адаптивным управлением [15]. Предлагаемый расчет воздухообмена, рис.2, совместной системы притока и теплонасосной системы с учетом полученных параметров микроклимата помещения (строения) площадью $100m^2$ показывает устойчивую энергосберегающую теплогенерацию помещения, соответствующую коэффициенту эффективности в диапазоне $2,96 \div 3,35$ при нагреве теплоносителя до $35^\circ C$ и $1,98 \div 2,23$ в режиме нагрева до $55^\circ C$, т.е. и с обеспечением горячего водоснабжения.

Соблюдая в настоящее время эпидемиологическую антивирусную безопасность, возникает необходимость оснащения строений любого назначения приборами санитарно-гигиенического назначения, использование которых в сочетании с воздухообменом и воздушным теплообеспечением помещения обеспечивают необходимое качество микроклимата.

Выводы.

Таким образом, за счёт комплексного сочетания воздушно-тепловой установки теплообеспечения со смесительной камерой и приточной вентиляционной системой, сохраняя теплофизические свойства окружающей среды и минимальную концентрацию уровня CO_2 , получаем устойчивое состояние микроклимата помещения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А. Рециркуляционный воздушный тепловой насос с рекуперацией:

опыт применения. *АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика*. 2020. № 8. С. 54–57.

2. **Sergey Fedosov, Vadim Fedoseev, Nikolay Elin, Vladimir Voronov, and Svetlana Loginova.** Heat pump system built into the room with the Implementation of air exchange and microclimate. *E3S Web of Conferences* 281, 05002 (2021). CATPID-2021 Part 1.

3. ГОСТ Р ИСО 16000-26-2015. Национальный стандарт Российской Федерации. Воздух замкнутых помещений. Часть 26. Отбор проб при определении содержания диоксида углерода (CO_2).

4. СанПиН 2.2.4.548-96 Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы. /Утв. Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 01.10.1996/№ 21. М., 1996.

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

6. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Емелин В.А.** Эффективность конструкции смесительной камеры при совместной работе с воздушной теплонасосной системой теплоснабжения помещений. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. 2021. № 1 (65). С. 94–100. DOI: 10.6060/snt.20216501.0012.

7. **Лебедева Н.А.** Вентиляция и внутренний микроклимат. *АВОК*. № 3. 2012. С. 42–51.

8. **Fanger P.** Качество внутреннего воздуха в XXI веке: влияние на комфорт, производительность и здоровье людей. *АВОК*. № 4. 2003.

9. **Бродач М.М., Шилкин Н.В.** От зеленых зданий – к здоровым зданиям: в фокусе внимания здоровье и благополучие людей. *Энергосбережение*. № 7. 2020. С. 26–36.

10. **Тарабанов М.Г., Прокофьев П.С.** Нагревание и увлажнение воздуха в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. *АВОК*. № 6. 2010.

11. Инструкция по эксплуатации теплового насоса с передачей тепла от воздуха к воде.

12. **Шилькрот Е.О., Губернский Ю.Д.** Сколько воздуха нужно человеку для комфорта? *АВОК*. 2008. № 4.

13. **Наумов А.Л., Капко Д.В.** CO₂: критерий эффективности вентиляции. *АВОК*. №1. 2015. С.12-21.

14. **Robertson D.S.** The rise in the atmospheric concentration of carbondioxide and the effects on human health. *Med Hypotheses*, 2001 Apr; 56(4):513-8. DOI: 10.1054/mehy.2000.1256.

15. Системы адаптивной вентиляции: перспективные направления развития. *АВОК*. 2011. № 7.

REFERENCES

1. **Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zaitseva I.A.** Recirculating air heat pump with recuperation: application experience. *AVOC: Ventilation, heating, air conditioning, heat supply and construction thermophysics*. 2020. N 8. P. 54-57.

2. **Sergey Fedosov, Vadim Fedoseev, Nikolay Elin, Vladimir Voronov, and Svetlana Loginova.** Heat pump system built into the room with the Implementation of air exchange and microclimate. *E3S Web of Conferences* 281, 05002 (2021). CATPID-2021 Part 1.

3. GOST R ISO 16000-26-2015. National Standard of the Russian Federation. The air of enclosed spaces. Part 26. Sampling strategy for carbon dioxide (CO_2).

4. SanPiN 2.2.4.548-96 Physical factors of the production environment. Hygienic requirements for the microclimate of industrial premises. Sanitary rules and regulations. /Approved. Resolution of the State Committee of Sanitary and Epidemiological Supervision of the Russian Federation dated 01.10.1996 N 21. M., 1996.
5. **Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zaitseva I.A., Emelin V.A.** High-tech air heat pump system "three in one" for low-rise and cottage buildings. *Instrumentation*. 2020. N 2 (236). P. 49-53.
6. **Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Emelin V.A.** Efficiency of the mixing chamber design when working together with an air heat pump system for heating premises. *Modern high-tech technologies. Regional application*. 2021. N 1 (65). P. 94-100. DOI: 10.6060/snt.20216501.0012.
7. **Lebedeva N.A.** Ventilation and internal microclimate. *AVOK*. N 3. 2012. P.42-51.
8. **Fanger P.** The quality of indoor air in the XXI century: the impact on comfort, productivity and human health. *AVOK*. 2003. N 4.
9. **Brodach M.M., Shilkin N.V.** From green buildings to healthy buildings: the focus is on the health and well-being of people. *Energy saving*. N 7. 2020. P. 26-36.
10. **Tarabanov M.G., Prokofiev P.S.** Heating and humidification of air in ventilation and air conditioning systems. *AVOK*. N 6. 2010.
11. Operating instructions for a heat pump with heat transfer from air to water
12. **Shilkrot E.O., Gubernsky Y.D.** How much air does a person need for comfort? *AVOC*. 2008. N 4.
13. **Naumov A.L., Kapko D.V.** CO₂: criterion of ventilation efficiency. *AVOC*. N 1. 2015. P.12-21.
14. **Robertson D.S.** The rise in the atmospheric concentration of carbondioxide and the effects on human health. *Med Hypotheses*, 2001 Apr; 56(4):513-8. DOI: 10.1054/mehy.2000.1256.
15. Adaptive ventilation systems: promising directions of development. *AVOK*. 2011. N 7.