

УДК 628.854.33

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-2(9)-86-94

## Обзор и анализ свойств экологически чистых фреонов — рабочих жидкостей в воздушном тепловом насосе

С. В. Федосов<sup>\*,\*\*,1</sup>, В. Н. Федосеев<sup>\*\*</sup>, И. А. Зайцева<sup>\*\*</sup>, В. А. Воронов<sup>\*\*</sup>

*\* Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Москва, Россия*

*\*\* Ивановский государственный политехнический университет, Иваново, Россия*

---

### Аннотация

Рост популярности применения теплогенераторов на основе возобновляемых источников — воздушных тепловых насосов сопровождается увеличением актуальности вопроса их модернизации с целью увеличения эффективности. При этом немаловажную роль играет рабочая среда внутреннего контура теплового насоса — хладагент (фреон). На выбор фреона накладывает ограничения Монреальский протокол, согласно которому использование веществ, разрушающих озоновый слой, запрещено. При выборе хладагента необходимо учитывать все качества и факторы, характеризующие возможности в условиях их работы. На основе информации из отечественных и международных нормативных документов можно сформировать группы требований, предъявляемых при выборе хладагента для воздушного теплового насоса, оптимальные по различным предъявляемым критериям. В частности, в отношении безвредности для человека можно также выделить группу требований для фреонов: практический предел концентрации хладагента и предельно допустимую концентрацию. На сегодняшний день крайне важным является оценка и учет показателей экологической безопасности хладагентов. В данной статье приводится оценка показателей экологичной безопасности выбранной группы фреонов, отобранных по критерию частоты использования. Оценивая показатели экологической безопасности анализируемых хладагентов, отобранные, приоритетные показатели были составлены в один обобщающий (интегральный) показатель, по значению которого появляется возможность судить об экологической безопасности хладагентов. Для этого рассматриваем наибольшие и наилучшие значения. Результаты исследования представлены в виде инфографической модели.

### Ключевые слова

Воздушный тепловой насос, фреон, хладагент, экологическая безопасность, энергоэффективность, возобновляемые источники энергии, энергосбережение.

---

### Введение

В условиях поиска и применения возобновляемых источников энергии для теплоснабжения зданий особую актуальность

приобретают вопросы повышения энергетической эффективности работы воздушных тепловых насосов (ВТН), где рабочей жидкостью является хладагент (фреон).

---

<sup>1</sup> Для переписки

Email: fedosovsv@mgsu.ru

Использование фреонов в последние годы связано с различными ограничениями, введенными международными соглашениями, например, Монреальским протоколом по веществам, разрушающим озоновый слой, и Киотским протоколом по веществам, влияющим на глобальное потепление. Технические разработки в настоящее время сосредоточены на том, чтобы переходить к экологически безопасным и безвредным при эксплуатации хладагентам при одновременном повышении энергоэффективности ВТН.

В качестве хладагентов используют вещества, обладающие особыми термодинамическими, физико-химическими и физиологическими свойствами, которые должны обеспечивать безопасную и экономичную (с малыми энергозатратами) эксплуатацию ВТН. Широкое использование фреонов привело к тому, что многие считают слова хладагент и фреон синонимами.

Обзор информации о фреонах, представленной в отечественных и международных нормативных документах [1–5], позволил систематизировать ряд требований, которым должны удовлетворять хладагенты:

- термодинамические (высокие холодопроизводительность, теплопроводность и теплопередача);
- физико-химические (низкая коррозионная активность и негорючесть);
- физиологические (безвредность для человека);
- экономические (низкая стоимость, доступность и распространенность);
- экологические (озонобезопасность и низкий потенциал глобального потепления).

Все эти требования удовлетворить невозможно, т. е. не существует идеального хладагента. Поэтому при выборе хладагента желательно учитывать все их

качества и факторы, характеризующие возможности в условиях их работы.

Для оценки экологической безопасности фреонов используют два критерия:

- озоноразрушающий потенциал (ОРП, ODP — OzoneDepletionPotential). Озоноразрушающую активность определяют наличием атомов хлора в молекуле;
- потенциал глобального потепления (ППП, GWP — GlobalWarmingPotential). Парниковая активность фреонов в зависимости от марки и состава варьируется в пределах от 1300 до 8500 раз, что выше, чем у углекислого газа при одинаковых объемах.

Группа физиологических требований, характеризующих безвредность для человека, может быть представлена следующими показателями [6]:

ППНЧ — Практический предел концентрации хладагента при нахождении человека в помещении. Определяют как предельную концентрацию хладагента в помещении, не приводящую к вредным воздействиям на человека и не требующую срочных мер по эвакуации в случае непреднамеренной разгерметизации холодильного контура и попадания всего количества хладагента в атмосферу помещения. Этот показатель используют при определении максимально допустимой величины заправки контура данным хладагентом для конкретного применения;

ПДК / ПНК — Предельно допустимая концентрация токсического воздействия или значение концентрации, приводящее к нехватке кислорода. ПДК — предельно допустимая концентрация хладагента в воздухе ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ), которая при длительном воздействии в рабочее время в течение всего рабочего стажа не может вызвать заболеваний и отклонений в состоянии здоровья человека. ПДК устанавливает Министерство здравоохранения и социального развития Российской Федерации.

### Материалы и методы решения задач, принятые допущения

К наиболее реально используемым в настоящее время [7-9] рабочим жидкостям в тепловых насосах для обогрева помещений относятся R134, R404, R410, R507 и ряд др.

Оценивая показатели экологической безопасности анализируемых хладагентов, отобранные, приоритетные показатели были составлены в один обобщающий (интегральный) показатель, по значению которого появляется возможность судить об экологической безопасности хладагентов. Для этого рассматриваем наибольшие и наилучшие значения. Реализуя эти данные, строим площадную диаграмму (рисунок 1).

Отраженная на диаграмме (рисунок 1) информационная композиция показывает позицию «идеального» хладагента. Она характеризуется «веревочным» многоугольником, соответствующим принятым

в нашем случае наилучшим значениям показателей на каждом луче диаграммы.

### Результаты

Площадь фигуры, обобщенно ограниченной многоугольником, отражает достоинства рассматриваемых хладагентов. Чем она больше, тем лучше подходит хладагент для ВТН, используемого в системе обогрева помещения. Замер площадей по построенной диаграмме и соотношение площадей, соответствующих каждому хладагенту, с площадью «идеального» хладагента, позволяет оценить эффективный уровень каждого хладагента. Для наглядности проанализируем и проранжируем хладагенты в порядке уменьшения значений интегрального показателя экологической безопасности (рисунок 2).

Ранжирование хладагентов позволило установить, что наиболее экологически безопасным для воздушного теплового насоса является фреон R-134A.

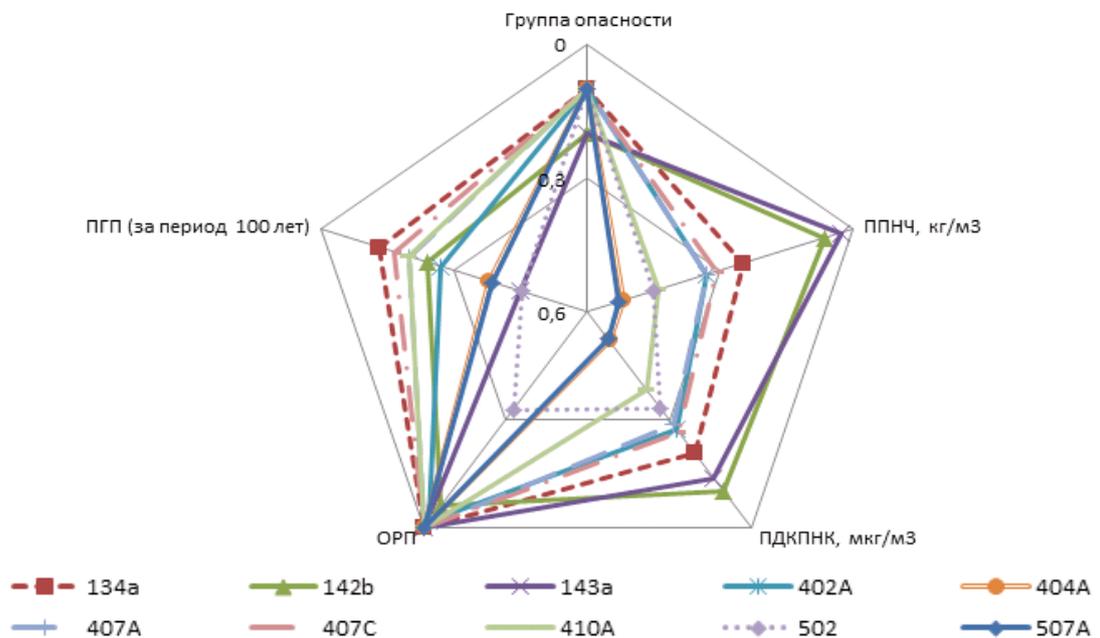


Рисунок 1 — Композиционная инфографическая модель экологической безопасности хладагентов ВТН для систем отопления

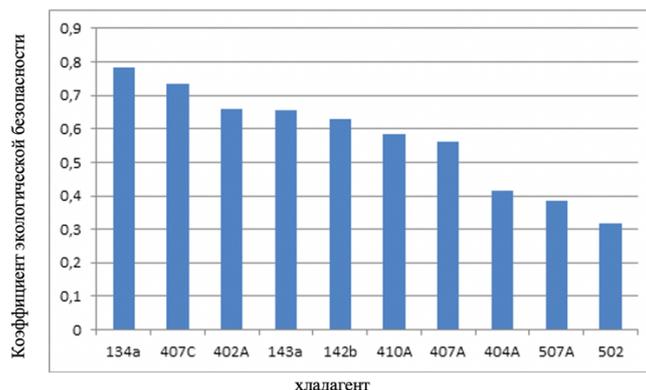


Рисунок 2 — Ранги анализируемых хладагентов по уровню экологической безопасности

### Обсуждение полученных результатов

Экологические и химические свойства фреонов — не единственные их характеристики. Важны и их физические свойства: температура кипения, критические температура и давление и другие. Именно эти свойства определяют, подойдет хладагент для решения конкретной задачи или нет. Главным критерием при выборе заменителей ОРВ является близость физико-химических и эксплуатационных свойств к аналогичным характеристикам заменяемых ОРВ.

В исследовании [10] авторами сделан вывод, что фреон R134 наиболее близок к значению идеального интегрального показателя по уровню термодинамической активности фреонов (ТДАФ), а также его экологической безопасности, энергетической эффективности и стоимости. ТДАФ — это интегральный показатель, объединяющий в себе следующие показатели: «относительная молекулярная масса», «коэффициент энергоэффективности», «теплота парообразования», «давление», «объем фреона», «работа компрессора».

Несмотря на разные перспективы использования, требования к хладагентам довольно близки, если соблюдать отечественные законы. Они должны быть:

- безопасными по Конституционным требованиям России;
- безопасными по Трудовому праву и Санитарным нормам России;
- энергоэффективными, коррозионно-пассивными, стабильными при многократно повторяющихся циклах сжатия в компрессорах;
- иметь диапазон температуры кипения: для кондиционеров ( $-10...+30^{\circ}\text{C}$ ), среднего ( $-20...-30^{\circ}\text{C}$ ) и низкого уровня холода ( $-40...-50^{\circ}\text{C}$ );
- для крупных полугерметичных машин должны быть недорогие моно вещества или азеотропные смеси;
- совместимыми с недорогими минеральными маслами;
- термостабильными на уровне не менее  $200^{\circ}\text{C}$  для холодильных машин, кондиционеров и ГеоТЭС;  $500-650^{\circ}\text{C}$  для альтернативной энергетики и для АЭС;
- должны производиться в России по отечественным ГОСТам, соответствовать ТУ и быть на отечественном рынке по доступной цене.

Перечисленные требования являются основой для формирования Технического задания на использование рабочего тела — хладагента в агрегате и цикле. Они подробно изложены как в отечественных, так и в зарубежных научных публикациях [4, 5, 6, 7]. В условиях разработки конкретного рабочего проекта диапазон

требований к рабочему телу расширяется, поскольку конкретные условия эксплуатации ВТН, отражаемые в Техническом задании, могут иметь свой конкретный диапазон.

Хладагент, являющийся рабочим телом ВТН, выбирается разработчиками систем с учетом большого числа факторов: высокой эффективности работы оборудования, низкой стоимости, пожаробезопасности и токсичности. Требования к хладагенту постоянно пополняются и конкретизируются. Основными факторами, определяющими выбор хладагента согласно нашим изысканиям, безусловно, являются его термодинамические и теплофизические характеристики. Они влияют на эффективность, эксплуатационные показатели и конструктивные характеристики оборудования.

#### **Заключение**

Сегодня в мире намечается тенденция активного использования хладагентов четвертого поколения, имеющих высокую термодинамическую эффективность, не влияющих на озоновый слой и оказывающих минимальное воздействие на глобальное потепление.

В последние 10–15 лет активно идет поиск смесей, не имеющих в составе атомы ни хлора Cl, ни фтора F. К безопасным природным фреонам относятся бутан, изобутан, углекислый газ и аммиак. Но самым безопасным и перспективным является пропан (R290). Он не оказывает разрушающего воздействия на озоновый слой и имеет очень низкий потенциал влияния на глобальное потепление. Характеристики этого газа почти не отличаются от фреона R22. Примером таких, чисто коммерческих, фреонов является азеотропный хладагент MCOOL 22.

В настоящем и будущем развитие и поиск экологически чистых рабочих жидкостей для воздушных тепловых насосов

будет заключаться в технической модернизации фреонового контура, высокой надежности и усовершенствовании самих воздушных тепловых насосов.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

[1]. Алоян Р. М., Федосеев В. Н., Петрухин А. Б. и др. Эффективность отопления тепловым насосом автономных текстильных производств в зависимости от уровня термодинамической активности фреонов. *Известия вузов. Технология текстильной промышленности*, 2017, № 1, с. 179–184.

[2]. Харитонов Б. П. Безопасность фреонов. АВОК, №2, 2009, с. 44–46.

[3]. Маке В., Эккерт Г.-Ю., Кошпен Ж.-Л. Учебник по холодильной технике. Перевод с французского д-р техн. наук В. Б. Сапожников. М., 1998, 1142 с.

[4]. Перельштейн И. И., Парушин Е. Б. Термодинамические и теплофизические свойства рабочих веществ холодильных машин и тепловых насосов. М.: Лег. и пищ. пром-сть, 1984, 232 с.

[5]. Хейвуд Р. В. Анализ циклов в технической термодинамике. Москва, 1979.

[6]. 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.

[7]. Федосов С. В., Федосеев В. Н., Воронов В. А., Емелин В. А., Логинова С. А. Качество воздухообмена в помещении с эффектом очищения окружающей среды. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*, 2022, № 72(4), с. 69–74.

DOI: 10.6060/snt.20227204.00010

[8]. Федосов С. В., Федосеев В. Н., Воронов В. А., Емелин В. А., Логина С. А. Комплексное теплообеспечение и устойчивое состояние тепловлажностной среды внутри помещения с уровнем качества CO<sub>2</sub>. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*, 2022, № 69(1), с. 76–82.

DOI: 10.6060/snt.20226901.00010

[9]. Lapidus A., Fedoseev V., Ostryakova J., Voronov V., Sokolov A. Organizational and technological aspects of the design and construction of heat supply systems based on heat pumps in low-rise construction. *E3S Web of Conferences. XXIV*

*International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2021)*, 2021, vol. 263, 02025. DOI: 10.1051/e3sconf/202126302025

[10]. Fedosov S., Fedoseev V., Voronov V., Loginova S. Energy-efficient state of the room microclimate with a combined heat pump air exchange system and built-in sanitary and hygienic system. In: Solovev D. B., Kyriakopoulos G. L., Venelin T. (eds) *SMART Automatics and Energy. Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2022, vol. 272, pp. 555–561.

DOI: 10.1007/978-981-16-8759-4\_57

**Федосов Сергей Викторович** — д-р техн. наук, профессор, академик РААСН, профессор кафедры «Технологии и организация строительного производства», Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (Российская Федерация, 129337, Москва, Ярославское ш., д. 26)

**Федосеев Вадим Николаевич** — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Организация производства и городское хозяйство», Ивановский государственный политехнический университет (Российская Федерация, 153000, Иваново, Шереметевский пр., д. 21)

**Зайцева Ирина Александровна** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Организация производства и городское хозяйство», Ивановский государственный политехнический университет (Российская Федерация, 153000, Иваново, Шереметевский пр., д. 21)

**Воронов Владимир Андреевич** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Организация производства и городское хозяйство», Ивановский государственный политехнический университет (Российская Федерация, 153000, Иваново, Шереметевский пр., д. 21)

# Overview and analysis of the properties of environmentally friendly freons — working fluids in an air source heat pump

S. V. Fedosov<sup>\*,\*\*,1</sup>, V. N. Fedoseev<sup>\*\*</sup>, I. A. Zayceva<sup>\*\*</sup>, V. A. Voronov<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup> *National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia*

<sup>\*\*</sup> *Ivanovo State Polytechnical University, Ivanovo, Russia*

---

## Abstract

The growing popularity of the use of heat generators based on renewable sources - air source heat pumps is accompanied by an increase in the urgency of the issue of their modernization in order to increase efficiency. In this case, an important role is played by the working medium of the internal circuit of the heat pump — the refrigerant (freon). The Montreal Protocol imposes restrictions on the choice of freon, according to which the use of substances that destroy the ozone layer is prohibited. When choosing a refrigerant, it is necessary to take into account all the qualities and factors that characterize the possibilities in their working conditions. Based on information from domestic and international regulatory documents, it is possible to form groups of requirements for choosing a refrigerant for an air source heat pump, which are optimal according to various criteria. In particular, with regard to harmlessness to humans, a group of requirements for freons can also be distinguished: the practical limit of the refrigerant concentration and the maximum permissible concentration. Today, it is extremely important to evaluate and take into account the indicators of environmental safety of refrigerants. This article provides an assessment of the environmental safety indicators of a selected group of freons, selected according to the criterion of frequency of use. Assessing the indicators of environmental safety of the analyzed refrigerants, the selected priority indicators were compiled into one generalizing (integral) indicator, by the value of which it becomes possible to judge the environmental safety of refrigerants. For this, we consider the largest and best values. The results of the study are presented in the form of an infographic model.

## Keywords

Air source heat pump, freon, refrigerant, environmental safety, energy efficiency, renewable energy, energy saving

---

## REFERENCES

- [1]. Aloyan R. M., Fedoseev V. N., Petrukhin A. B. et al. Effektivnost' otopleniya teplovym nasosom avtonomnykh tekstil'nykh proizvodstv v zavisimosti ot urovnya termodinamicheskoi aktivnosti freonov [Efficiency of heating by a heat pump of autonomous textile industries depending on the level of thermodynamic activity of freons]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi*

---

<sup>1</sup> *Corresponding author*

*Email: fedosovsv@mgsu.ru*

promyshlennosti [Proceedings of higher education institutions. Textile industry technology], 2017, no. 1, pp. 179–184. (In Russ.)

[2]. Kharitonov B. P. Bezopasnost' freonov [Freon safety]. AVOK [AVOK: ventilation, heating, air conditioning, heat supply, and building heat physics], no. 2, 2009, pp. 44–46. (In Russ.)

[3]. Make V., Ekker G.-Yu., Koshpen Zh.-L. Uchebnik po kholodil'noi tekhnike. Perevod s frantsuzskogo d-r tekhn. nauk V. B. Sapozhnikov [Refrigeration textbook. Translated from French by Dr. V. B. Sapozhnikov]. Moscow, 1998, 1142 p. (In Russ.)

[4]. Perel'shteyn I. I., Parushin E. B. Termodinamicheskie i teplofizicheskie svoystva rabochikh veshchestv kholodil'nykh mashin i teplovykh nasosov [Thermodynamic and thermophysical properties of working substances of refrigeration machines and heat pumps]. Moscow: Leg. i pishch. prom-st' Publ., 1984, 232 p. (In Russ.)

[5]. Heywood R. V. Analiz tsiklov v tekhnicheskoi termodinamike [Cycle analysis in technical thermodynamics]. Moscow, 1979. (In Russ.)

[6]. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Zaitseva I. A. Recirkulyatsionnyi vozdushnyi teplovoi nasos s rekuperatsiei: opyt primeneniya [Recirculating air heat pump with recovery: application experience]. AVOK: Ventilyatsiya, otoplenie, konditsionirovanie vozdukha, teplosnabzhenie i stroitel'naya teplofizika [AVOK: ventilation, heating, air conditioning, heat supply, and building heat physics], 2020, no. 8, pp. 54–57. (In Russ.)

[7]. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Voronov V. A., Emelin V. A., Loginova S. A. Kachestvo vozdukhobmena v pomeshchenii s efektom ochishcheniya okruzhayushchei sredy [Quality of air exchange in

a room with the effect of cleaning the environment]. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie [Modern science-intensive technologies. Regional Supplement], 2022, no. 72(4), pp. 69–74. (In Russ.)

DOI: 10.6060/snt.20227204.00010

[8]. Fedosov S. V., Fedoseev V. N., Voronov V. A., Emelin V. A., Loginova S. A. Kompleksnoe teploobespechenie i ustoychivoe sostoyanie teplovlazhnostnoi sredy vnuri pomeshcheniya s urovnem kachestva CO<sub>2</sub> [Integrated heat supply and stable state of indoor heat and moisture environment with CO<sub>2</sub> quality level]. Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie [Modern science-intensive technologies. Regional Supplement], 2022, № 69(1), pp. 76–82. (In Russ.)

DOI: 10.6060/snt.20226901.00010

[9]. Lapidus A., Fedoseev V., Ostryakova J., Voronov V., Sokolov A. Organizational and technological aspects of the design and construction of heat supply systems based on heat pumps in low-rise construction. *E3S Web of Conferences. XXIV International Scientific Conference “Construction the Formation of Living Environment” (FORM-2021)*, 2021, vol. 263, 02025.

DOI: 10.1051/e3sconf/202126302025

[10]. Fedosov S., Fedoseev V., Voronov V., Loginova S. Energy-efficient state of the room microclimate with a combined heat pump air exchange system and built-in sanitary and hygienic system. In: Solovev D. B., Kyriakopoulos G. L., Venelin T. (eds) *SMART Automatics and Energy. Smart Innovation, Systems and Technologies*, 2022, vol. 272, pp. 555–561.

DOI: 10.1007/978-981-16-8759-4\_57

**Fedosov S. V.** — Academician of the RAACS, Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Department of Technologies and Organization of Construction Production, National Research Moscow State University of Civil Engineering (Yaroslavskoe sh., 26, Moscow, 129337, Russian Federation).

**Fedoseev V. N.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Department «Organization of production and urban economy», Ivanovo State Polytechnic University (Sheremetevskiy av., 21, Ivanovo, 153000, Russian Federation).

**Zayceva I. A.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor of the Department «Organization of production and urban economy», Ivanovo State Polytechnic University (Sheremetevskiy av., 21, Ivanovo, 153000, Russian Federation).

**Voronov V. A.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor of the Department «Organization of production and urban economy», Ivanovo State Polytechnic University (Sheremetevskiy av., 21, Ivanovo, 153000, Russian Federation).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Обзор и анализ свойств экологически чистых фреонов — рабочих жидкостей в воздушном тепловом насосе / С. В. Федосов, В. Н. Федосеев, И. А. Зайцева, В. А. Воронов // Промышленные процессы и технологии. 2023. Т. 3. № 2(9). С. 86 – 94.  
DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-2(9)-86-94.

**Please cite this article as:**

Fedosov S. V. , Fedoseev V. N. , Zayceva I. A. , Voronov V. A. Overview and analysis of the properties of environmentally friendly freons — working fluids in an air source heat pump. Industrial processes and Technologies, 2023, vol. 3, no. 2(9), pp. 86 – 94.  
DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-2(9)-86-94