

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-313323>

Оригинальное исследование



Экономическая эффективность использования электростанции на базе дизеля совместно с воздушным тепловым насосом

М.Ю. Фролов, И.И. Шаталова, К.В. Шкарин, Д.А. Соколов

Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В населенных пунктах, расположенных в районах, не имеющих централизованного электрического и газового снабжения, проблемы энергообеспечения решаются за счет использования электростанций небольшой мощности на базе тепловых двигателей. Одним из основных недостатков таких установок является проблема экономии топлива, учитывая стоимость его доставки. В настоящей работе рассмотрен один из способов повышения эффективности энергообеспечения в период отопительного сезона в условиях холодного климата.

Цель работы. Целью исследования является повышение экономической эффективности электростанции на базе дизеля с воздушным тепловым насосом в условиях низкой температуры окружающей среды.

Материалы и методы. С помощью полученных экспериментальных данных, моделирование условий работы было выполнено в среде программы MathCad.

Результаты. Подогрев наружного воздуха перед входом в испаритель ТН позволяет существенно повысить коэффициент преобразования и тем самым расширить границы применения воздушных тепловых насосов в условиях холодного климата.

Заключение. Совместная работа дизельной электростанции и воздушного теплового насоса позволяет не только обеспечить отдельный поселок электричеством, но и снабдить его тепловой энергией для нужд отопления и горячего водоснабжения. При КПД дизельного двигателя равного 37% эффективность установки при температуре наружного воздуха 15 °С (288 К) с ТН увеличивается до 57%. Использование подогрева воздуха на входе в испаритель ТН за счет теплоты охлаждения двигателя и масла увеличивает коэффициент использования топлива на 12–14%.

Ключевые слова: дизельный двигатель; воздушный тепловой насос; холодный климат.

Как цитировать:

Фролов М.Ю., Шаталова И.И., Шкарин К.В., Соколов Д.А. Экономическая эффективность использования электростанции на базе дизеля совместно с воздушным тепловым насосом // Тракторы и сельхозмашины. 2023. Том 90, № 3. С. 285–291. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-313323>

Рукопись получена: 15.12.2022

Рукопись одобрена: 01.06.2023

Опубликована онлайн: 15.07.2023

DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-313323>

Original Study Article

Economical efficiency of using a diesel-powered electric plant combined with an air heat pump

Mikhail Yu. Frolov, Irina I. Shatalova, Kirill V. Shkarin, Dmitriy A. Sokolov

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: In settlements located in areas that do not have centralized electric and gas supply, the problems of energy supply are solved using low-power power plants based on heat engines. One of the main drawbacks of such units is the issue of fuel economy, given the cost of its delivery. In this paper, one of the ways to increase the efficiency of energy supply during the heating season in a cold climate is considered.

AIMS: Increasing the economical efficiency of a diesel-powered electric plant with an air heat pump in conditions of low ambient temperature.

METHODS: Simulation of operation conditions was performed in the MathCad software using the experimental data obtained at the department.

RESULTS: Heating of outside air before entering the evaporator of the heat pump makes it possible to significantly increase the conversion coefficient and thus expand the boundaries of application of air-source heat pumps in cold climates.

CONCLUSIONS:

1. The combined operation of the diesel power plant with the air heat pump makes it possible to provide a single settlement with electricity as well as to supply it with thermal energy for the needs of heating and hot water supply.
2. With the diesel engine efficiency equal to 37%, the unit efficiency with the heat pump increases to 57% at an ambient temperature of 15°C (288 K).
3. The use of air heating at the inlet to the heat pump evaporator increases the fuel use rate by 12–14% due to the heat of engine and oil cooling.

Keywords: *diesel engine; air heat pump; cold climate.*

To cite this article:

Frolov MYu, Shatalova II, Shkarin KV, Sokolov DA. Economical efficiency of using a diesel-powered electric plant combined with an air heat pump. *Tractors and Agricultural Machinery*. 2023;90(3):285–291. DOI: <https://doi.org/10.17816/0321-4443-313323>

Received: 15.12.2022

Accepted: 01.06.2023

Published online: 15.07.2023

ВВЕДЕНИЕ

В поселках, расположенных в районах, не имеющих централизованного электрического и газового снабжения, проблемы энергообеспечения решаются за счет использования электростанций небольшой мощности на базе тепловых двигателей. Примерами являются районы дальнего Востока и Сибири. Очевидно, что при этом проблема экономии топлива является весьма актуальной, учитывая стоимость его доставки. Решению этой задачи может способствовать применение тепловых насосов (ТН). Тепловые насосы получили широкое распространение в различных отраслях, но главной областью их использования является обеспечение комфортной среды в жилищной сфере: отопление, горячее водоснабжение.

В качестве низкопотенциальных источников теплоты (НПИТ) в системах с ТН используется вода, грунт, воздух и др. Из всех НПИТ наиболее предпочтительным с точки зрения эксплуатации является воздух: он всегда доступен, нетоксичен, практически ничего не стоит, легко транспортируется. В последнее время интерес к использованию воздуха в качестве НПИТ значительно вырос. Это связано с возросшим применением за рубежом воздушных ТН для отопления в регионах с низкими температурами окружающей среды. Сбыт таких ТН за несколько лет увеличился на 60% [1].

Для Российской Федерации (РФ) внедрение низко-температурных воздушных ТН, с учетом длительной продолжительности отопительного периода, также является весьма актуальным [2, 3].

Изменение температур наружного воздуха по месяцам отопительного периода для условий средней полосы РФ показано на рис.1. Отопительный сезон длится 7 месяцев, наиболее холодные дни и наибольшие нагрузки на систему отопления наблюдаются в январе, а наименьшие – в октябре. Минимальная температура в период отопительного сезона равна $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ (январь).

Эффективность ТН оценивается коэффициентом преобразования:

$$\text{COP} = \frac{Q}{N_k},$$

где Q – тепловой поток, вырабатываемый ТН, N_k – мощность, затрачиваемая на привод компрессора ТН.

Коэффициент преобразования в большей степени зависит от температуры НПИТ и температуры потребителя, эта зависимость представлена на рис. 2. Как следует из рис. 2, использование в ТН воздуха в качестве НПИТ имеет один существенный недостаток – при пониженной температуре окружающей среды коэффициент преобразования (COP) сильно снижается, и для поддержания стандартной температуры внутри помещения необходимо использовать дополнительные источники отопления (например, электрический подогрев). Пути повышения

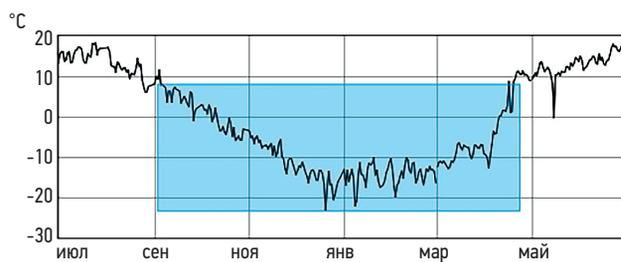


Рис. 1. Годовой ход температуры окружающей среды t_n для средней полосы России.

Fig. 1. Annual cycle of temperature t_n of Central Russia.

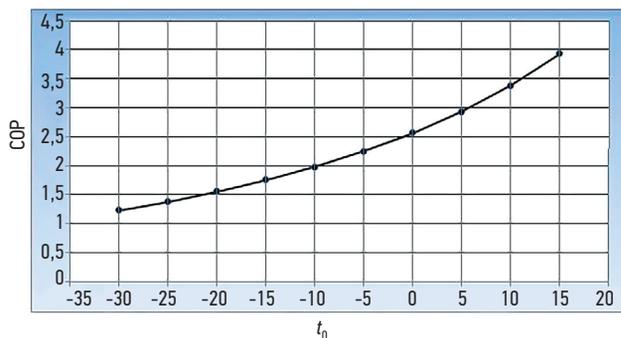


Рис. 2. Зависимость коэффициента преобразования от температуры наружного воздуха t_0 при температуре потребителя $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Fig. 2. Dependence of transformation rate on ambient temperature t_0 at the consumer temperature of $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

коэффициента преобразования воздушных ТН в условиях холодного климата различны – это совершенствование конструктивных схем ТН с целью повышения эффективности [4–7], применение многоступенчатого сжатия в компрессоре теплового насоса [8, 9].

Целью исследования является повышение экономической эффективности электростанции на базе дизеля с воздушным тепловым насосом в условиях низкой температуре окружающей среды.

В данной работе рассматривается повышение эффективности воздушного ТН, работающего совместно с тепловым двигателем [10]. Для снабжения небольших поселков электроэнергией применяются электростанции на базе ДВС небольшой мощности, например, дизеля.

Тепловой баланс дизеля можно представить в следующем виде:

$$Q_T = G_T / 3600 Q_H^P = Q_{Ne} + Q_G + Q_W + Q_M, \quad (1)$$

где Q_T – химическая теплота топлива; Q_H^P – теплотворная способность топлива; Q_{Ne} – теплота (тепловой поток) эквивалентная эффективной мощности дизеля; Q_G – теплота (тепловой поток) отработавших газов; Q_W – теплота (тепловой поток), отдаваемая в охлаждающую жидкость дизеля; Q_M – теплота, отведенная масляной системой дизеля; G_T – часовой расход топлива дизеля.

Доля теплоты топлива, отдаваемая в охлаждающую жидкость и масло, составляет для поршневых двигателей соответственно 0,15–0,20 и 0,04–0,10 от Q_T [11]. На обычной электростанции небольшой мощности из-за сложности системы утилизации вторичные ресурсы дизеля Q_T , Q_W , Q_M не используются.

В качестве примера рассмотрим схему энергообеспечения отдельного поселка, расположенного в удаленной местности с холодным климатом, не имеющей централизованного электрического снабжения с отсутствием газового снабжения (рис. 3). Установка содержит дизель для привода генератора, который предназначен для обеспечения поселка электрической энергией. Это может быть обычная электростанция на базе ДВС, выпускаемая серийно (например, Ярославским моторным заводом). Установка отличается от серийной тем, что в нее включен воздушный ТН, который вырабатывает тепловую энергию для удовлетворения нужд поселка в отоплении и горячем водоснабжении. На привод компрессора теплового насоса используется часть электрической энергии, вырабатываемой генератором. В рассматриваемой схеме наружный воздух, служащий источником низкопотенциального тепла для ТН, продувают через теплообменник (ТО) для охлаждения двигателя Q_W и масла Q_M . Далее подогретый воздух поступает в испаритель ТН.

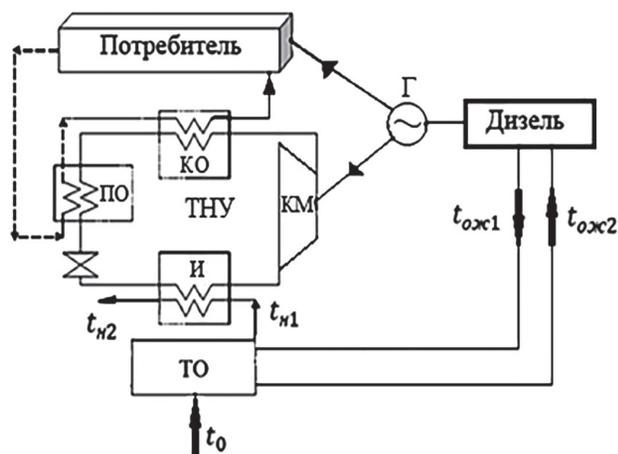


Рис. 3. Схема ТН с дизельным двигателем: И – испаритель; КМ – компрессор; КО – конденсатор; ПО – переохладитель; ТО – теплообменник; Г – генератор.

Fig. 3. Diagram of the heat pump with a diesel engine: И – an evaporator; КМ – a compressor; КО – a condenser; ПО – a sub-cooler; ТО – a heat exchanger; Г – a generator.

Уравнение теплового баланса в теплообменнике (см. рис. 3) принимает вид:

$$G_B(t_{н1} - t_0)c_{pmB} = Q_W + Q_M, \quad (2)$$

где $(t_{н1} - t_0) = \Delta t$ – подогрев воздуха в ТО, °С; G_B – расход воздуха, кг/с; c_{pmB} – удельная теплоёмкость воздуха, кДж/(кг·°С); $t_{н1}, t_0$ – температуры воздуха на входе и выходе из ТО, °С; Q_W – теплота, отдаваемая в охлаждающую жидкость двигателя кВт; Q_M – теплота, отдаваемая в масло, кВт.

Уравнение теплового баланса в испарителе ТН можно записать в форме:

$$G_{фр}r_{фр} = G_B(t_{н1} - t_{н2})c_{pB}, \quad (3)$$

где $G_{фр}$ – расход рабочего агента, кг/с; $t_{н2}$ – температура воздуха на выходе из испарителя ТН, °С; c_{pB} – удельная теплоёмкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·К); $r_{фр}$ – удельная теплота парообразования рабочего агента, кДж/кг.

$$G_{фр} = Q_{ТН} / q, \quad (4)$$

где $q = q_k + q_{по}$ – удельный отвод теплоты в конденсаторе (q_k) и переохладителе ($q_{по}$), кДж/кг [12]; – тепловая производительность ТН, кВт.

Расход воздуха находим из (3):

$$G_B = \frac{G_{фр}r_{фр}}{(t_{н1} - t_{н2})c_{pB}}. \quad (5)$$

Для примера проведем расчет схемы (см. рис. 3). В качестве двигателя принят ЯМЗ АД-60-Т400: мощность $N_e = 60$ кВт; КПД – $\eta = 0,37$; частота – 50 Гц; напряжение – 400 В. Тепловой насос компрессионного типа, НПИТ – наружный воздух, хладагент – R600a. Используя выражения (2) – (5), находим подогрев воздуха в теплообменнике $(t_{н1} - t_0) = \Delta t$ и определяем по [10], коэффициенты преобразования без подогрева и с учетом подогрева наружного воздуха.

При этом принято: $Q_W = 0,19Q_T$ – теплота (тепловой поток) отдаваемая в охлаждающую воду; $Q_M = 0,06Q_T$ – теплота (тепловой поток) отдаваемая в масло; химическая теплота топлива

$$Q_T = \frac{Q_{Ne}}{\eta} = \frac{60}{0,37} = 162 \text{ кВт.}$$

Таблица 1. Результаты расчета коэффициента преобразования ТН без подогрева и с подогревом воздуха на входе в испаритель
Table 1. Calculation results of HP conversion factor without heating and with air heating at the evaporator inlet

$t_0, ^\circ\text{C}$	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
COP (без подогрева)	1,23	1,38	1,56	1,75	1,98	2,25	2,56	2,93	3,38	3,93
COP (с подогревом)	1,56	1,75	1,98	2,25	2,56	2,93	3,38	3,93	4,62	5,52

Результаты расчета коэффициента преобразования ТН без подогрева и с подогревом воздуха на входе в испаритель приведены в табл. 1 и на рис. 4.

Как следует из полученных данных, подогрев наружного воздуха перед входом в испаритель ТН позволяет существенно повысить COP и тем самым расширить границы применения воздушных ТН в условиях холодного климата. Рассмотрим, как влияет подогрев на экономичность дизельной установки на следующем примере, в котором из общей мощности ($N_e = 60$ кВт) часть электрической мощности ($N_d = 50$ кВт), вырабатываемой генератором двигателя подается потребителю, а вторая часть ($N_k = 10$ кВт) идет на привод компрессора теплового насоса.

В этом случае энергия, отдаваемая потребителю:

$$Q = N_d + Q_{ТН} \quad (6)$$

Теплота, получаемая в тепловом насосе:

$$Q_{ТН} = N_k \cdot \eta_k \cdot COP$$

Здесь η_k – КПД компрессора ТН.

Результаты расчета тепловой мощности ТН без подогрева и с подогревом воздуха на входе в испаритель даны в табл. 2 и на рис. 5.

Из рис. 5 видно, что тепловая мощность ТН растет с увеличением температуры наружного воздуха. Подогрев воздуха увеличивает $Q_{ТН}$ на 27% при низких значениях t_0 и на 40% при высоких.

Коэффициент использования топлива (К) установки с подогревом воздуха и без подогрева, в зависимости от t_0 равен:

$$K = \frac{Q}{Q_T}$$

Результаты расчета коэффициента использования топлива без подогрева и с подогревом воздуха на входе в испаритель даны на рис. 6. Видно, что включение воздушного теплового насоса существенно повышает коэффициент использования топлива установки. Так если КПД дизеля равен 37%, то при работе с ТН эффективность установки увеличивается до 50% (без подогрева воздуха) и с подогревом – до 57%.

Таблица 2. Результаты расчета тепловой мощности ТН без подогрева и с подогревом воздуха на входе в испаритель

Table 2. The results of calculating the thermal power of HP without heating and with air heating at the inlet to the evaporator

$t_0, ^\circ\text{C}$	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
$Q_{ТН}$ (кВт) без подогрева	9,84	11,04	12,56	14	15,84	18	20,48	23,44	27,04	31,44
$Q_{ТН}$ (кВт) с подогревом	12,56	14	15,84	18	20,48	23,44	27,04	31,44	36,96	44,16

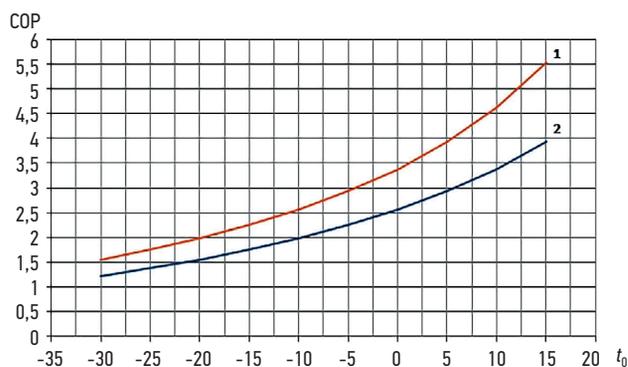


Рис. 4. Коэффициент преобразования в зависимости от температуры наружного воздуха t_0 : 1 – с подогревом; 2 – без подогрева.

Fig. 4. Dependence of transformation rate on ambient temperature t_0 : 1 – with heating; 2 – without heating.

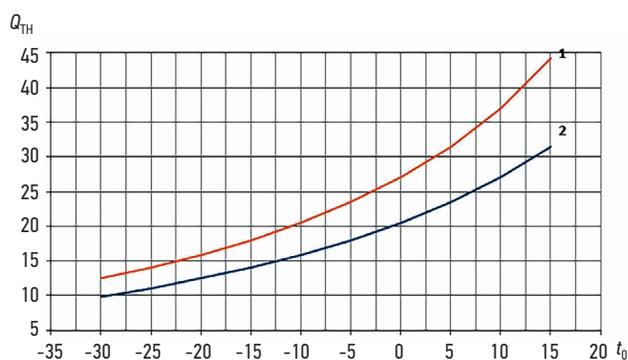


Рис. 5. Тепловая мощность ТН в зависимости от температуры наружного воздуха t_0 : 1 – с подогревом; 2 – без подогрева.

Fig. 5. Dependence of heat power of the heat pump on ambient temperature t_0 : 1 – with heating; 2 – without heating.

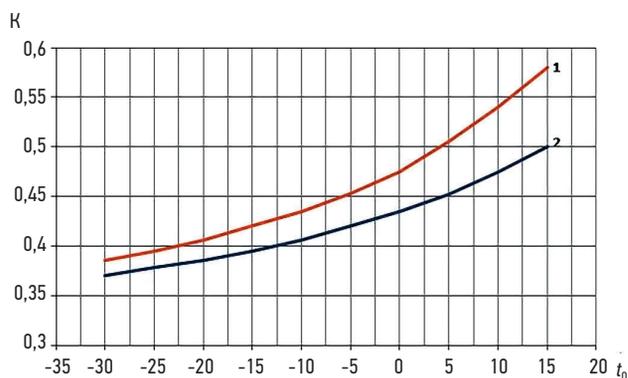


Рис. 6. Коэффициент использования теплоты топлива в зависимости от температуры наружного воздуха t_0 : 1 – с подогревом; 2 – без подогрева.

Fig. 6. Dependence of fuel use rate on ambient temperature t_0 : 1 – with heating; 2 – without heating.

ВЫВОДЫ

1. Совместная работа дизельной электростанции с воздушным тепловым насосом позволяет не только обеспечить отдельный поселок электричеством, но и снабдить его тепловой энергией для нужд отопления и горячего водоснабжения.
2. При КПД дизельного двигателя равным 37% эффективность установки при температуре наружного воздуха 15 °С (288 К) с ТН увеличивается до 57%.
3. Использование подогрева воздуха на входе в испаритель ТН за счет теплоты охлаждения двигателя и масла увеличивает коэффициент использования топлива на 12–14%.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. М.Ю. Фролов — поиск публикаций по теме статьи, написание текста рукописи; И.И. Шаталова — редактирование текста рукописи; Д.А. Соколов — редактирование текста рукописи, создание изображений; К.В. Шкарин — экспертная оценка, утверждение финальной версии. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям *ICMJE* (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции,

проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. M.Y. Frolov — search for publications, writing the text of the manuscript; I.I. Shatalova — editing the text of the manuscript; D.A. Sokolov — editing the text of the manuscript, creating images; K.V. Shkarin — expert opinion, approval of the final version. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воздушные тепловые насосы. Издательский Центр «Аква-Терм». Дата обращения: 15.12.2022. Режим доступа: https://aqua-therm.ru/articles/articles_218.html
2. Суслов А.В. О востребованности, работоспособности и окупаемости воздушных тепловых насосов в условиях России // Холодильная техника. 2009. Т. 98, № 12. С. 8–13. doi: 10.17816/RF97713
3. Филиппов С.П., Ионов М.С., Дильман М.Д. Перспективы применения воздушных тепловых насосов для теплоснабжения жилых зданий в различных климатических условиях // Теплоэнергетика. 2012. № 11. С. 11–18.
4. Khowailed G., Sikes K., Abdelaziz O. Preliminary Market Assessment for Cold Climate Heat Pumps. Oak Ridge: ORNL, 2011. Report No.: ORNL/TM-2011/422. Дата обращения: 15.12.2022. Режим доступа: <https://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub32941.pdf>
5. Shen B., Abdelaziz O., Rice K., et al. Pham, in Cold Climate Heat Pumps Using Tandem Compressor // Conference Paper in 2016 ASHRAE Winter Conference, Orlando. U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information, 2016. Дата обращения: 15.12.2022. Режим доступа: <https://www.osti.gov/biblio/1235826>
6. Shen B., Abdelaziz O., Baxter V., et al. Cold Climate Heat Pump Using Tandem Vapor-Injection Compressors // Johansson D., Bagge H., Wahlström Å. (eds) Cold Climate HVAC 2018. CCC 2018. Springer Proceedings in Energy. Cham: Springer, 2019. P. 429–439. doi: 10.1007/978-3-030-00662-4_36
7. Heoa J., Jeonga M.W., Kim Y. Effects of flash tank vapor injection on the heating performance of an inverter-driven heat pump for cold regions // Int. J. Refrigeration. 2010. Vol. 33. P. 848–855. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2009.12.021
8. Патент РФ 140197 / 10.05.2014. Бюл. № 13. Антипов Ю.А., Шаталов И.К., Собенников Е.В. Многоступенчатая теплонасосная установка. Дата обращения: 15.12.2022. Режим доступа: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=833c31aa580e3130d8a091064ecc62bb>
9. Патент РФ 2705696 / 02.08.2018 Бюл. № 22. Антипов Ю.А., Шаталов И.К., Силин А.В., и др. Многоступенчатая теплонасосная установка. Дата обращения: 15.12.2022. Режим доступа: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=3592e7ffc4b2e93b8919a0f2bc8e5102>
10. Шаталов И.К., Антипов Ю.А. Утилизация вторичных энергоресурсов тепловых двигателей с использованием тепловых насосов. М.: РУДН, 2015.
11. Шаталов И.К. Теплонасосные установки с приводом от тепловых двигателей: Учебное пособие. М.: РУДН, 2009.
12. Kosoi A.S., Antipov Y.A., Shkarin K.V., et al. A multistage heat pump unit model for reducing energy consumption of space heating at low ambient temperatures // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2021. Vol. 1100. P. 012045. doi: 10.1088/1757-899X/1100/1/012045

REFERENCES

1. Air source heat pumps. Publishing Center "Aqua-Therm" [internet] Accessed: 15.12.2022. Available from: https://aqua-therm.ru/articles/articles_218.html
2. Suslov AV. On the demand, performance and payback of air heat pumps in Russia. *Refrigeration technology*. 2009;98(12):8–13. (in Russ.) doi: 10.17816/RF97713
3. Filippov SP, Ionov MS, Dilman MD. Prospects for the use of air heat pumps for heat supply of residential buildings in various climatic conditions. *Теплоэнергетика*. 2012;11:11–18. (in Russ.)
4. Khowailed G, Sikes K, Abdelaziz O. Preliminary Market Assessment for Cold Climate Heat Pumps. Oak Ridge: ORNL; 2011. Report No.: ORNL/TM-2011/422. Accessed: 15.12.2022. Available from: <https://info.ornl.gov/sites/publications/files/Pub32941.pdf>
5. Shen B, Abdelaziz O, Rice K, et al. Pham, in Cold Climate Heat Pumps Using Tandem Compressor. In: *Conference Paper in 2016 ASHRAE Winter Conference, Orlando*. U.S. Department of Energy Office of Scientific and Technical Information; 2016. Accessed: 15.12.2022. Available from: <https://www.osti.gov/biblio/1235826>
6. Shen B, Abdelaziz O, Baxter V, et al. Cold Climate Heat Pump Using Tandem Vapor-Injection Compressors. In: Johansson D., Bagge H., Wahlström Å. (eds) *Cold Climate HVAC 2018. CCC 2018. Springer Proceedings in Energy*. Cham: Springer, 2019:429–439. doi: 10.1007/978-3-030-00662-4_36
7. Heoa J, Jeonga MW, Kim Y. Effects of flash tank vapor injection on the heating performance of an inverter-driven heat pump for cold regions. *Int. J. Refrigeration*. 2010;33:848–855. doi: 10.1016/j.ijrefrig.2009.12.021
8. Patent RUS 140197 / 10.05.2014. Byul. № 13. Antipov YuA, Shatalov IK, Sobennikov EV. *Mnogostupenchataya teplonasnaya ustanovka*. (in Russ.) Accessed: 15.12.2022. Available from: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=833c31aa580e3130d8a091064ecc62bb>
9. Patent RUS 2705696 / 02.08.2018 Byul. № 22. Antipov YuA, Shatalov IK, Silin AV, et al. *Mnogostupenchataya teplonasnaya ustanovka*. (in Russ.) Accessed: 15.12.2022. Available from: <https://new.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=3592e7ffc4b2e93b8919a0f2bc8e5102>
10. Shatalov IK, Antipov YuA. *Utilization of secondary energy resources of heat engines using heat pumps*. Moscow: RUDN; 2015. (in Russ.)
11. Shatalov IK. *Heat pump installations driven by heat engines: Textbook*. Moscow: RUDN; 2009. (in Russ.)
12. Kosoi A.S., Antipov Y.A., Shkarin K.V., et al. A multistage heat pump unit model for reducing energy consumption of space heating at low ambient temperatures // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2021. Vol. 1100. P. 012045. doi: 10.1088/1757-899X/1100/1/012045

ОБ АВТОРАХ

* **Соколов Дмитрий Андреевич**,
аспирант,
заведующий лабораторией кафедры энергетического машиностроения;
адрес: Российская Федерация, 117198, Москва,
ул. Миклухо-Маклая, д. 6;
ORCID: 0000-0001-5175-2219;
eLibrary SPIN: 1084-7419;
e-mail: sokolov-da@rudn.ru

Фролов Михаил Юрьевич,
канд. техн. наук,
доцент кафедры энергетического машиностроения;
ORCID: 0000-0003-2356-6587;
eLibrary SPIN: 3995-2331;
e-mail: frolov-myu@rudn.ru

Шаталова Ирина Ивановна,
канд. сель.-хоз. наук,
доцент департамента инновационного менеджмента
в отраслях промышленности;
ORCID: 0000-0001-7302-4247;
eLibrary SPIN: 2455-4647;
e-mail: shatalova_ii@pfur.ru

Шкарин Кирилл Владимирович,
ассистент кафедры энергетического машиностроения;
ORCID: 0000-0002-5680-517X;
eLibrary SPIN: 4599-9150;
e-mail: shkarin-kv@rudn.ru

* Автор, ответственный за переписку

AUTHORS' INFO

* **Dmitriy A. Sokolov**,
Postraduate Student,
Head of Laboratory at the Power Engineering
Department;
address: 6 Miklukho-Maclay street, 117198 Moscow,
Russian Federation;
ORCID: 0000-0001-5175-2219;
eLibrary SPIN: 1084-7419;
e-mail: sokolov-da@rudn.ru

Mikhail Y. Frolov,
Cand. Sci. (Tech.),
Associate Professor of the of Power Engineering Department;
ORCID: 0000-0003-2356-6587;
eLibrary SPIN: 3995-2331;
e-mail: frolov-myu@rudn.ru

Irina I. Shatalova,
Cand. Sci. (Agricult.),
Associate Professor of the Innovation Management
in Industries Department;
ORCID: 0000-0001-7302-4247;
eLibrary SPIN: 2455-4647;
e-mail: shatalova_ii@pfur.ru

Kirill V. Shkarin,
Assistant of the of Power Engineering Department;
ORCID: 0000-0002-5680-517X;
eLibrary SPIN: 4599-9150;
e-mail: shkarin-kv@rudn.ru

* Corresponding author