

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 677. 697.1



DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-189-194 Оригинальная статья /Original article

Внедрение энергосберегающих технологий в домостроении
Е.И. Крупнов¹, И.А. Зайцева¹, С.А. Логинова², А.В. Симагин³

¹Ивановский государственный политехнический университет,

¹153000, г. Иваново, Шереметевский пр-т, 21, Россия,

²Ярославский государственный технический университет,

²150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88, Россия,

³Ивановское ЛПУМГ – филиал ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород»,
603000, г. Нижний новгород, ул. Звездинка, д.11, Россия

Резюме. Цель. За последние десятилетия благодаря своим преимуществам в энергоэффективности и экологичности тепловые насосы получили большую популярность, став одной из наиболее привлекательных альтернатив для замены традиционных систем отопления, работающих на ископаемом топливе. Эффективность теплового насоса является решающим фактором, который следует учитывать при выборе и оптимизации системы теплового насоса. Целью исследования являлась оценка эффективности применения воздушных тепловых насосов системы «воздух-вода» в климатических условиях, характерных для регионов центрального федерального округа. **Метод.** Для оценки эффективности применения воздушных тепловых насосов используется математическая модель, учитывающая многофакторность исследуемого процесса. **Результат.** Для адекватности сравнения полученных результатов исследования с паспортными эксплуатационными показателями использовался коэффициент трансформации (COP), показывающий отношение полученной энергии к затраченной работе. В результате более предпочтительным был признан способ отопления помещений воздушным тепловым насосом с комбинированным режимом работы. **Вывод.** В настоящее время потенциал тепловых насосов в области энергосбережения и снижения выбросов CO₂ в значительной степени остается не раскрытым, что и задает вектор дальнейших исследований.

Ключевые слова: энергосбережение, тепловой насос, энергопотребление, эффективность

Для цитирования: Е.И. Крупнов, И.А. Зайцева, С.А. Логинова, А.В. Симагин. Внедрение энергосберегающих технологий в домостроении. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2024;51(3):189-194. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-189-194

Implementation of Energy-saving Technologies in House construction
E.I. Krupnov¹, I.A. Zaitseva¹, S.A. Loginova², A.V. Simagin³

¹Ivanovo State Polytechnic University,

¹21 Sheremetevsky Ave., Ivanovo 153000, Russia,

²Yaroslavl State Technical University,

²88 Moskovsky Ave., Yaroslavl 150023, Russia

³Ivanovskoye LPUMG – branch of Gazprom transgaz Nizhny Novgorod LLC,

³11 Zvezdinka St., Nizhny Novgorod 603000, Russia

Abstract. Objective. Over the past decades, heat pumps have gained great popularity due to their advantages in energy efficiency and environmental friendliness, becoming one of the most attractive alternatives to replace traditional heating systems running on fossil fuels. Heat pump efficiency is a decisive factor that should be taken into account when selecting and optimizing a heat pump system. The aim of the study was to evaluate the efficiency of air source heat pumps of the air-to-water system in the climatic conditions typical of the regions of the

Central Federal District. **Method.** To evaluate the efficiency of air source heat pumps, a mathematical model is used that takes into account the multifactorial nature of the process under study. **Result.** To adequately compare the obtained research results with the passport performance indicators, the transformation coefficient (COP) was used, showing the ratio of the energy received to the expended work. As a result, the method of heating rooms with an air source heat pump with a combined operation mode was recognized as more preferable. **Conclusion.** Currently, the potential of heat pumps in the field of energy saving and CO₂ emission reduction remains largely untapped, which sets the vector for further research.

Keywords: energy saving, heat pump, energy consumption, economic efficiency

For citation: E.I. Krupnov, I.A. Zaitseva, S.A. Loginova, A.V. Simagin. Implementation of Energy-saving Technologies in House construction. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2024;51(3):189-194. DOI:10.21822/2073-6185-2024-51-3-189-194

Введение. При проектировании зданий с применением энергосберегающих технологий, в том числе с применением тепловых насосов, необходимо предусмотреть ряд мероприятий, направленных на снижение энергозатрат. В период эксплуатации тепловые насосы имеют различные значения выработки тепловой энергии и потребления электроэнергии [1]. Данные показатели зависят сразу от нескольких факторов. От правильности учета необходимой тепловой нагрузки и расхода электроэнергии зависит точность расчета эксплуатационных затрат, необходимых для работы теплового насоса [2-5].

Коэффициент трансформации (COP) является важным показателем для измерения эффективности тепловых насосов [6]. КПД тепловых насосов с воздушным источником может превышать 300%, поскольку они передают тепло, а не генерируют его. Для сравнения, электрические обогреватели работают с КПД около 100% (1 единица электроэнергии производит 1 единицу тепла), мазутные и газовые котлы достигают КПД около 90% [7, 8]. Проблема в сравнении эффективности тепловых насосов на основе их значений COP заключается в том, что они дают нереалистичные ожидания в отношении производительности теплового насоса, поскольку показывают эффективность только в пиковых условиях [9, 10]. Так, например, в зимнее время, когда температура наружного воздуха падает, эффективность воздушного теплового насоса также снижается, поскольку на их работу используется больше электроэнергии для поддержания нормальной температуры в обогреваемом помещении [11-14]. В связи с этим, рациональнее сравнивать эффективность тепловых насосов на основе их сезонного коэффициента COP. В этом случае COP позволяет получить достоверную информацию об эффективности теплового насоса, поскольку учитывает сезонные изменения и дает среднее значение за весь год [15].

Постановка задачи. В связи с вышесказанным возникает необходимость проведения экономической оценки и обоснования целесообразности использования низкотемпературных воздушных тепловых насосов системы «воздух-вода» в климатических условиях, характерных для таких областей, как Ярославская, Ивановская, Костромская, Владимирская и т.п.

Методы исследования. Для оценки энергетической и экономической эффективности применения низкотемпературных воздушных тепловых насосов системы «воздух-вода» использовалось следующее математическое описание [16, 17]:

$$Q_{\text{ЭН}}^{\text{общ}} = Q_{\text{ЭН}}^{\text{ВТН}} + Q_{\text{ЭН}}^{\text{ТЭН}}, \quad (1)$$

где: $Q_{\text{ЭН}}^{\text{общ}}$ – энергопотребление теплонасосной системы теплоснабжения, $Q_{\text{ЭН}}^{\text{ВТН}}$ – энергопотребление тепловым насосом, $Q_{\text{ЭН}}^{\text{ТЭН}}$ – энергопотребление электротеном.

Объект исследования – бревенчатый жилой дом площадью 100 м² со средними тепловыми потерями 2 Вт/м² и воздушный тепловой насос Meeting в режиме A10/W30 и A10/W55, конструктивно приспособленный к атмосферным условиям рассматриваемых регионов с выходной тепловой мощностью 7 кВт, электрической мощностью 1,75 кВт с буферной емкостью теплоносителя объемом 300 л. Рассматриваемый диапазон температур от -30 до +20°C. С экспериментальной точки зрения рассматривались два режима:

напольная система отопления помещения (A10/W30) и система с нагревом воды для нужд горячего водоснабжения (A10/W50). Оба случая характеризуются наличием буферной емкости. Для оценки производительности и эффективности теплового насоса определялся коэффициент трансформации COP.

Так как продолжительность периодов с наиболее низкой температурой в течение отопительного периода в рассматриваемых регионах незначительна, экономически целесообразно проектировать дорогостоящие тепловые насосы на покрытие всей расчетной тепловой нагрузки. В связи с этим наиболее рациональным будет применение универсальной схемы теплоснабжения с учетом дополнительного электротена, программно-интегрированного в схему воздушного теплового насоса.

Обсуждение результатов. В табл. 1 приведены показатели тепловых потерь и расхода электрической энергии для функционирования воздушного теплового насоса (ВТН) при среднесуточной температуре $-2,5^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1. Показатели необходимого энергопотребления за отопительный период
Table 1. Indicators of required energy consumption during the heating period

$t_{\text{наруж.}}$, $^{\circ}\text{C}$	Продолжительность отопительного периода, час. Duration of the heating period, hour.	ВТН A10/W50		ВТН A10/W30	
		$Q_{\text{эн.}}^{\text{общ.}}$, кВт/ч	$\text{COP}_{\text{расч.}}$	$Q_{\text{эн.}}^{\text{общ.}}$, кВт/ч	$\text{COP}_{\text{расч.}}$
-30	37	302,48	1,32	172,98	2,31
-25	49	351,58	1,37	180,08	2,67
-20	59	364,33	1,43	157,83	3,29
-15	276	1428,30	1,51	478,40	4,50
-10	918	3832,65	1,63	1387,20	4,50
-5	1135	3603,63	1,83	1462,89	4,50
0	1158	2518,65	2,21	1235,20	4,50
5	580	881,60	2,50	489,78	4,50
10	285	319,20	2,50	177,33	4,50
15	243	145,80	3,00	87,48	5,00
20	60	13,71	3,50	8,73	5,50
Итого	4800	13761,91	1,85	5837,882	4,35

При расчетах важно помнить, что основой работы теплового насоса является воздух, температура которого в течение суток может падать на несколько десятков градусов. При определении мощности теплового насоса для отопления дома на основании средней температуры можно получить значение потребления энергии выше, чем заявлено у производителя.

В связи с этим, рациональнее проводить расчеты для каждого месяца отопительного сезона отдельно учитывая количество дней, что позволит экономить расход электроэнергии. Для расчетов значения средней температуры, характерные для любого региона, и иные параметры принимаются согласно СП 131.13330 «Строительная климатология» и СП 60.13330. «Отопление, вентиляция и кондиционирование».

С целью эффективного использования воздушных тепловых насосов важно правильно подобрать тепловую мощность, соблюдая условие:

$$P_{\text{тепл.мощ.}} \geq Q_{\text{потери}} \quad (2)$$

При низких температурах тепловые насосы обладают низкой производительностью, требуя дополнительную мощность. С экономической точки зрения рационален вариант использования воздушного теплового насоса в осенне-весенний период, и зимой в комбинации с дополнительным источником энергии.

Общие теплопотери зданий $Q_{\text{потери}}$ при различной температуре наружного воздуха $t_{\text{нар.возд.}}$ рассчитываются по формуле:

$$Q_{\text{потери}} = S \cdot q \cdot (t_{\text{помещ.}} - t_{\text{нар.возд.}}), \quad (3)$$

где: S – площадь здания, м^2 ; q – теплопотери, $\text{кВт}/\text{м}^2$; $t_{\text{помещ.}}$ – температура внутри помещения, $^{\circ}\text{C}$.

Зная общие теплопотери здания $Q_{потери}$ и продолжительность отопительного периода T можно рассчитать расход общего количества теплоты, необходимой для обогрева здания:

$$Q_{тепл.}^{общ.} = Q_{потери} \cdot T. \quad (4)$$

Эффективность сезонной работы воздушного теплового насоса оценивается показателем $COP_{расч.}$, представленным в табл. 1. Таким образом, на основании расчетных значений табл. 1 можно определить сколько энергии универсальная система позволяет сэкономить за отопительный период. На рис. 1 представлены полученные расчетные значения энергопотребления и теплоотдачи при комбинированной системе теплоотдачи.

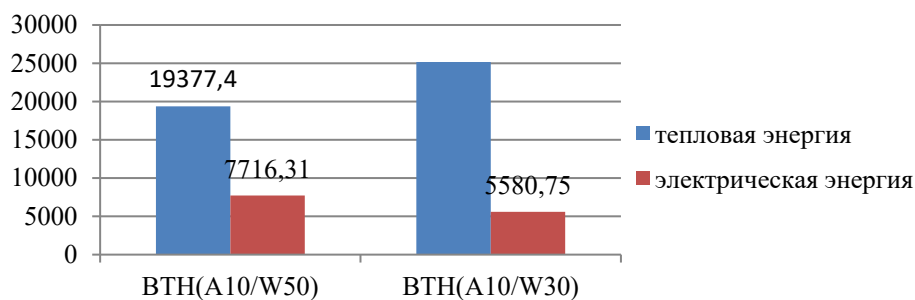


Рис. 1. Энергопотребление и теплоотдача при комбинированной системе теплоснабжения, кВт/ч

Fig. 1. Energy consumption and heat transfer with a combined heat supply system, kW/h

При использовании комбинированной теплонасосной системы теплоснабжения ВТН7 кВт А10/В50 экономия за отопительный период составила 45,9% по сравнению с электрическим отоплением. Из сэкономленной электроэнергии 56,1% пришлось на воздушный тепловой насос и 43,9% на ТЭН (рис. 2). При сравнении электрического отопления и комбинированной теплонасосной системы теплоснабжения ВТН7 кВт А10/В30 экономия составила 77%, при этом сэкономленная электроэнергия составила 95,6% и 4,4% на ТЭН.

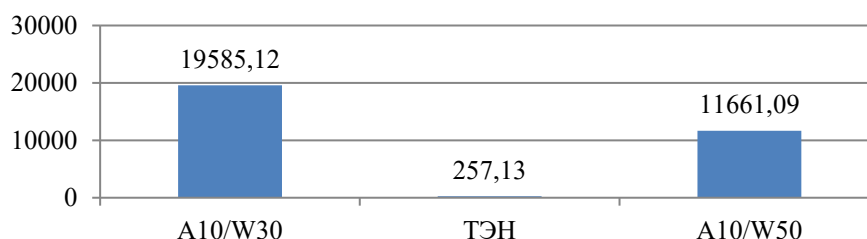


Рис. 2. Экономия энергопотребления ВТН при комбинированных режимах теплоснабжения за отопительный период, кВт/ч

Fig. 2. Savings in energy consumption of VHP under combined heat supply modes during the heating period, kW/h

Также стоит отметить, что использование ВТН 7 кВт А10/В30 в совокупности с системой отопления «теплый пол» позволяет добиться более высоких показателей экономии электроэнергии по сравнению с ВТН 7 кВт А10/В50. При этом потребление электроэнергии снизится в 2,4 раза при совместном энергопотреблении ВТН и ТЭН, а расход электроэнергии, потребленной только ТЭН, уменьшится в 23,5 раза, так как основная нагрузка придется на ВТН. При этом средние расчетные значения COP за отопительный период будут приближенными к паспортным значениям.

Так, например, при использовании системы теплоснабжения ВТН 7 кВт А10/ В30 значения паспортного и расчетного COP совпадут при температуре равной -15°C , а при ВТН 7 кВт А10/ В50 расчетные значения COP приблизятся к паспортным значениям при $+5^{\circ}\text{C}$. Чем выше показатель COP , тем меньше финансовые затраты.

Следует отметить, что выходная тепловая мощность воздушного теплового насоса зависит от объема хладагента, от площади поверхности змеевиков в испарителе и конденсаторе т.д. В связи с этим часто для подобных расчетов тепловой мощности удобнее

использовать специально написанные расчетные программы, способные учитывать действие многих факторов.

Вывод. На основе полученных результатов исследований можно сделать вывод о преимуществе отопления помещений воздушным тепловым насосом с комбинированным режимом работы. Применение воздушных тепловых насосов при отрицательных температурах окружающего воздуха экономически целесообразно. Основное влияние на эксплуатационные затраты теплового насоса имеет максимально возможное снижение температуры в отопительном контуре помещения. С возрастающей температурой воды в отопительном контуре уменьшается значение COP ВТН и, тем самым, возрастают эксплуатационные расходы.

Дальнейшие исследования наиболее целесообразны в области использовании комбинированного режима работы ВТН с внесением в его устройство конструктивных изменений - смесительной камеры и рекуператора.

Применение эффектов рециркуляции и рекуперации воздуха позволит обеспечить максимально комфортные условия микроклимата в помещении, а также добиться минимизации затрат на работу ТЭН, подключаемого только в период низких температур наружного воздуха.

Библиографический список:

1. Филиппов, С.П. Перспективы применения тепловых насосов в России / С.П. Филиппов, М.Д. Дильман, М.С. Ионов // Энергосовет. - 2011. - № 5 (18). - С. 42-45.
2. Il'ina, T.N. Efficiency of Operation of Air Heat Pumps with Evaporators of Various Designs/ T.N. Il'ina, P.A. Orlov, A.O. Echina // Proceedings of the Southwest State University. - 2023. - № 2(27). - С. 62-74. DOI: 10.21869/2223-1560-2023-27-2-62-76
3. Сапрыкина, Н.Ю. Повышение эффективности работы систем теплоснабжения и кондиционирования, работающих в комплексе с тепловым насосом // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. - 2018. - № 2 (24). - С. 17-23.
4. Яковлев, И.В. Эффективность применения тепловых насосов типа «воздух-вода» в климатических условиях России / И.В. Яковлев, А.М. Исхакова // Теплоэнергетика. - 2020. - № 10. - С. 38-47. DOI: 10.1134/S0040363620100100
5. Федяев, А.А. Эффективность использования тепловых насосов в условиях крайнего севера / А.А. Федяев, Н.Н. Михолап, В.Н. Федяева // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. - 2014. - Т. 1. - С. 41-46.
6. Шулепина, П.А. Эффективность применения парокомпрессионного теплового насоса / П.А. Шулепина, А.А. Михайлова, В.А. Алексеев // Modern Science. - 2021. - № 8. - С. 224-229.
7. Дерягин, В.В. Эффективность работы тепловых насосов // Тенденции развития науки и образования. - 2022. - № 85-1. - С. 98-100. DOI: 10.18411/trnio-05-2022-28
8. Агафонов, М.К. Сравнение эффективности использования теплового насоса и газового котла для отопления жилого здания / М.К. Агафонов, К.Е. Алексеев, Г.А. Кузнецова // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. - 2022. - № 2 (27). - С. 21-26.
9. Юнусов, Э.Ш. Эффективность теплоснабжения с использованием комбинированного теплового насоса / Э.Ш. Юнусов, А.С. Гаврилов // StudNet. - 2022. - № 6(5). - С. 102-106.
10. Федотов, А.С. Повышение эффективности теплового насоса // Научно-исследовательский центр «Science Discovery». - 2022. - № 10. - С. 627-631.
11. Сапрыкина, А.С. Исследование работы теплового насоса и его эффективность при различных режимах // Перспективы развития строительного комплекса. - 2017. - № 1. - С. 31-35.
12. Филиппов, С.П. Эффективность использования тепловых насосов для теплоснабжения малоэтажной застройки / С.П. Филиппов, М.Д. Дильман, М.С. Ионов // Теплоэнергетика. - 2011. - № 11. - С. 12-19.
13. Обьедкова, О.И. Эффективность применения тепловых насосов / О.И. Обьедкова, И.С. Кондратов, А.С. Семиненко // Современные наукоемкие технологии. - 2013. - № 8-1. - С. 43-44.
14. Жарков, Т.А. Об эффективности и окупаемости тепловых насосов // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. - 2015. - № 5 (161). - С. 62-64.
15. Лунева, С.К. Исследование эффективности функционирования теплового насоса / С.К. Лунева, А.Г. Лепеш // Техничко-технологические проблемы сервиса. - 2015. - № 4 (34). - С. 30-35.
16. Крупнов, Е.И. Методические аспекты оптимизации затрат энергопотребления малоэтажных строений со встроенным воздушным тепловым насосом / Е.И. Крупнов, И.А., С.А. Логинова, И.С. Зайцев // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. - 2023. - № 2 (50). - С. 177-187. DOI: 10.21822/2073-6185-2023-50-2-177-187

17. Федосов, С.В. Эффективное энергоснабжение малоэтажных строений воздушным тепловым насосом / С.В. Федосов, В.Н. Федосеев, А.Б. Петрухин // БСТ. – 2020. - №2. – С. 50–53.

References:

1. Filippov S.P., M.D. Dilman, M.S. Ionov. Prospects for the Application of Heat Pumps in Russia. *Energosovet*. 2011; 5 (18):42-45. (In Russ)
2. Iina T.N., P.A. Orlov, A.O. Echina. Efficiency of Operation of Air Heat Pumps with Evaporators of Various Designs. *Proceedings of the Southwest State University*. 2023; 2 (27):62-74.DOI: 10.21869/2223-1560-2023-27-2-62-76
3. Saprykina N.Yu. Improving the efficiency of heat supply and air conditioning systems operating in combination with a heat pump. *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. 2018;2 (24):17-23.
4. Yakovlev I.V., A.M. Iskhakova. Efficiency of using air-to-water heat pumps in the climatic conditions of Russia. *Thermal Power Engineering*. 2020;10:38-47.DOI: 10.1134/S0040363620100100(In Russ)
5. Fedyaev A.A., N.N. Mikholaev, V.N. Fedyaeva. Efficiency of using heat pumps in the conditions of the far north. *Transactions of Bratsk State University. Series: Natural and Engineering Sciences*. 2014;1:41-46. (In Russ)
6. Shulepina P.A., A.A. Mikhailova, V.A. Alekseev. Efficiency of using a vapor compression heat pump. *Modern Science*. 2021; 8: 224-229.
7. Deryagin, V.V. Efficiency of heat pumps. *Trends in the development of science and education*. 2022; 85(1): 98-100.DOI: 10.18411/trnio-05-2022-28 (In Russ)
8. Agafonov M.K., K.E. Alekseev, G.A. Kuznetsova. Comparison of the efficiency of using a heat pump and a gas boiler for heating a residential building. *Urban development. Infrastructure. Communications*. 2022; 2 (27):21-26. (In Russ)
9. Yunusov E.Sh., A.S. Gavrilov. Efficiency of heat supply using a combined heat pump.. *StudNet*. 2022; 6 (5):102-106. (In Russ)
10. Fedotov, A.S. Increasing the efficiency of the heat pump. *Research Center "Science Discovery"*. 2022;10: 627-631. (In Russ)
11. Saprykina, A.S. Study of the operation of the heat pump and its efficiency under various modes. *Prospects for the development of the construction complex*. 2017; 1:31-35. (In Russ)
12. Filippov, S.P. Efficiency of using heat pumps for heating low-rise buildings / S.P. Filippov, M.D. Dilman, M.S. Ionov. *Heat Power Engineering*. 2011;11:12-19. (In Russ)
13. Obyedkova, O.I. Efficiency of using heat pumps / O.I. Obyedkova, I.S. Kondratov, A.S. Seminenko. *Modern science-intensive technologies*. 2013;8(1):43-44. (In Russ)
14. Zharkov, T.A. On the efficiency and payback of heat pumps. *Plumbing, Heating, Air Conditioning*. 2015; 5 (161):62-64. (In Russ)
15. Luneva, S.K. Study of the efficiency of heat pump operation / S.K. Luneva, A.G. Lepesh. *Technical and technological problems of service*. 2015; 4 (34):30-35. (In Russ)
16. Krupnov E.I., I.A., S.A. Loginova, I.S. Zaitsev. Methodological aspects of optimization of energy consumption costs of low-rise buildings with a built-in air heat pump. *Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Sciences*. 2023;2(50):177-187.DOI:10.21822/2073-6185-2023-50-2-177-187(In Russ)
17. Fedosov, S.V. Efficient energy supply of low-rise buildings with an air heat pump. S.V. Fedosov, V.N. Fedoseyev, A.B. Petrukhin. *BST*. 2020; 2:50–53. (In Russ)

Сведения об авторах:

Крупнов Евгений Иванович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительства и инженерных систем; ekrup@list.ru

Зайцева Ирина Александровна, кандидат экономических наук, доцент, магистр кафедры строительства и инженерных систем; 75zss@rambler.ru

Логинова Светлана Андреевна, кандидат технических наук, заведующий кафедрой строительства зданий и сооружений; sl79066171227@yandex.ru

Симагин Александр Владимирович, инженер по эксплуатации теплотехнического оборудования 1 категории; sanya_sema1580@mail.ru

Information about authors:

Evgeny I. Krupnov, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department of Construction and Engineering Systems; ekrup@list.ru

Irina A. Zaytseva, Cand. Sci. (Econom.), Assoc. Prof., Master of the Department of Construction and Engineering Systems; 75zss@rambler.ru

Svetlana A. Loginova, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department of Construction of Buildings and Structures; sl79066171227@yandex.ru

Aleksandr V. Simagin, Engineer for Operation of Heat Engineering Equipment of the 1st Category; sanya_sema1580@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 22.06.2024.

Одобрена после рецензирования / Revised 27.07.2024.

Принята в печать /Accepted for publication 27.07.2024.