

<https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-4-372-380>

УДК 621.433.144

## Способы улучшения обработки воды и повышения энергетических характеристик теплового насоса типа «вода – воздух»<sup>1</sup>

Л. Р. Джунусова<sup>1</sup>, С. К. Абильдинова<sup>1</sup>, М. Б. Алиярова<sup>1</sup>, С. В. Чичерин<sup>2</sup>,  
Т. Ж. Джунусов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Алматинский университет энергетики и связи (Алматы, Республика Казахстан),

<sup>2</sup>Омский государственный университет путей сообщения (Омск, Российская Федерация),

<sup>3</sup>Алматинский технологический университет (Алматы, Республика Казахстан)

© Белорусский национальный технический университет, 2018  
Belarusian National Technical University, 2018

**Реферат.** Выполнено научно-теоретическое обоснование энергетических характеристик теплового насоса, напрямую зависящих от качества подготовленной воды, для надежной и бесперебойной работы испарителя теплового насоса и компрессора. На основе экспериментальных данных рассчитаны энергетические показатели теплового насоса. Рассмотрен способ комбинированной технологии работы теплового насоса типа «вода – воздух», эффективность которой основана на предварительном улучшении качества умягченной воды с помощью мембранной ультрафильтрационной установки. Такое решение позволило уменьшить нагрузку на фильтры и исключить использование химических реагентов, применяемых в классических схемах водоподогревательных установок. В целях усовершенствования работы компрессора теплового насоса предложен метод, основанный на изменении скорости вращения вала с помощью электронных микропроцессорных устройств. Для регулирования производительности компрессора использован частотный преобразователь, обладающий широким диапазоном изменения частоты переменного тока. Исследованы интервалы изменения частоты переменного тока, соответствующие энергоэффективным значениям коэффициента преобразования энергии теплового насоса. Полученные в ходе экспериментов и определенные расчетным путем значения коэффициента преобразования энергии теплового насоса согласуются между собой в пределах погрешностей эксперимента с регулированием производительности компрессора. Предложенная экспериментальная установка позволила определить зависимость основных характеристик блока теплонасосной установки от числа оборотов компрессора и найти эффективный диапазон его регулирования (50–180 %). Разработка усовершенствованных технологий для очистки природных вод в условиях повышенных антропогенных нагрузок на природные источники воды является приоритетной среди фундаментальных и прикладных исследований в области водоподготовки.

**Ключевые слова:** теплоснабжение, надежность, эффективность, тепловой насос, опреснение, ультрафильтрационная установка, компрессор, конденсатор, испаритель, частотный преобразователь, фреон, грунтовая вода, мембрана

**Для цитирования:** Способы улучшения обработки воды и повышения энергетических характеристик теплового насоса типа «вода – воздух» / Л. Р. Джунусова [и др.] // *Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ*. 2018. Т. 61, № 4. С. 372–380. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-4-372-380>

---

### Адрес для переписки

Джунусова Ляззат Рысхановна  
Алматинский университет  
энергетики и связи  
ул. Байтурсынова, 126,  
050013, г. Алматы, Республика Казахстан  
Тел.: +375 727 292-03-03  
[l\\_dzhunusova@mail.ru](mailto:l_dzhunusova@mail.ru)

### Address for correspondence

Junussova Lyazzat R.  
Almaty University  
of Power Engineering and Telecommunications  
126 Baitursynov str.,  
050013, Almaty, Republic of Kazakhstan  
Tel.: +375 727 292-03-03  
[l\\_dzhunusova@mail.ru](mailto:l_dzhunusova@mail.ru)

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Правительства Российской Федерации (приказ Минобрнауки от 29.08.2017 № 860).

## The Means to Improve Water Treatment and to Enhance Power Engineering Performance of the Water Source Heat Pump

L. R. Junussova<sup>1)</sup>, S. K. Abildinova<sup>1)</sup>, M. B. Aliyarova<sup>1)</sup>, S. V. Chicherin<sup>2)</sup>,  
T. Ja. Junussov<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Almaty University of Power Engineering and Telecommunications (Almaty, Republic of Kazakhstan),

<sup>2)</sup>Omsk State Transport University (Omsk, Russian Federation),

<sup>3)</sup>Almaty Technological University (Almaty, Republic of Kazakhstan)

**Abstract.** The subject matter of the paper is related to scientific-and-theoretical basis of power engineering characteristics of heat pump directly depending on the quality of treated water for reliable and uninterrupted operation of heat pump evaporator and compressor. On the basis of experimental data, energy parameters of the heat pump are calculated. The method of the combined technology of the heat pump “water – air” operation is considered, the efficiency of which is based on the preliminary improvement of the quality of water softened with the use of a membrane ultrafiltration unit. This solution made it possible to reduce the load on the filters and to exclude the use of chemical reagents used in the classical schemes of water heating facilities. In order to improve the operation of the heat pump compressor, a method based on altering the speed of rotation of the shaft by means of electronic microprocessor devices has been proposed. To regulate the compressor performance, a frequency converter with a wide range of alternating current frequency is used. The intervals of alteration of frequency of the alternating current corresponding to energy-efficient values of coefficient of transformation of energy of the heat pump are investigated. The values of the energy conversion coefficient of the heat pump obtained in the course of experiments and determined by calculation are consistent within the experimental errors with the regulation of the compressor performance. The suggested experimental device made it possible to determine the dependence of the main characteristics of the unit of the heat pump unit on the number of revolutions of the compressor and to find out an effective range of its control (50–180 %). The development of advanced technologies for natural water treatment under conditions of increased anthropogenic loads on natural water sources is a priority one among the fundamental and applied research in the field of water treatment.

**Keywords:** district heating, reliability, efficiency, heat pump, desalination, ultrafiltration unit, compressor, condenser, evaporator, frequency converter, freon, underground water, membrane

**For citation:** Junussova L. R., Abildinova S. K., Aliyarova M. B., Chicherin S. V., Junussov T. Ja. (2018) The Means to Improve Water Treatment and to Enhance Power Engineering Performance of the Water Source Heat Pump. *Energetika. Proc. CIS Higher Educ. Inst. and Power Eng. Assoc.* 61 (4) 372–380. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2018-61-4-372-380> (in Russian)

### Введение

Чаще всего исследования в области теплонасосных установок (ТНУ) направлены на конфигурирование вновь вводимых в строй систем [1–5] или на выполнение с точки зрения существующих преимущественно в странах Европы (Скандинавии) мощностей [6, 7] в условиях неравномерного суточного [8] или изменяющегося в течение года [9] теплового потребления и нестабильной рыночной и политической конъюнктуры [10, 11]. Приняты также и менее масштабные объекты исследования. Способы улучшения качества исходной воды, в частности опреснения, рассмотре-

ны в [12–14]. Однако делается это с целью изменения химического состава (обессоливания) – как основного технологического процесса, происходящего за счет энергии, получаемой от теплового насоса без использования его для нужд теплоснабжения. Энергетических характеристик теплового насоса касается также большое число работ [15–22], но, например, азиатские ученые [23] снимают показатели только на испытательных стендах, где установлено оборудование, которое не распространено в России и странах СНГ, или используют очень специфическое оборудование [24]. А российские ученые [25] привязываются к определенному виду хладагента: изобутану (R600a) и н-пентану (R601).

Спецификой русскоязычных публикаций часто является ведомственная ориентация научных исследований, как в [26, 27]. В связи с этим авторы настоящей работы сделали попытку расширить область применения разработок, изложенных ниже. Продолжение исследования возможно путем мониторинга надежности и контроля герметичности контуров, актуального для теплового насоса [28, 29], так же как и для любого другого оборудования цепочки «источник теплоснабжения – тепловая сеть – потребитель» [30]. Наряду с оценкой состояния, Н. Ю. Сапрыкина и П. В. Яковлев [31] задают другое перспективное направление для дальнейших исследований, а именно – изучение влияния теплового насоса на источник теплоты для него.

Таким образом, немногие из перечисленных работ решают научные задачи на реально действующих типовых теплонасосных установках, а большинство из них не касаются вопросов подготовки исходной воды. Авторами статьи поставлена цель научно обосновать энергетические характеристики теплового насоса на реально действующей модели.

### **Методы и алгоритмы решения**

Система тепловых насосов с водой в качестве нижнего источника рекламируется как наиболее эффективная с точки зрения эксплуатационных расходов на отопление [2, 23]. В качестве низкопотенциального источника теплоты для теплового насоса чаще всего используют грунтовую воду, в которой содержится много железа. Это делает важной предварительную подготовку воды, которая может выполняться с применением ультрафильтрационных методов. Ультрафильтрация – это процесс мембранного разделения жидких смесей под действием давления 0,3–0,8 МПа, основанный на различии молекулярных масс или молекулярных размеров компонентов разделяемой смеси. Для ультрафильтрации использовали рулонный элемент с ультрафильтрационными мембранами на основе ацетата целлюлозы, обладающими более высокой удельной производительностью, гидрофильными свойствами, менее подверженными адсорбционному загрязнению органическими веществами и позволяющими в полной степени осуществить предварительную очистку воды (рис. 1).

В ультрафильтрационном модуле УФУ производится предварительное умягчение воды. Блок предварительной обработки воды с таким модулем

позволяет тепловому насосу работать с более высокой производительностью. При работе на осветленной воде капитальные затраты на сооружение теплонасосной установки сокращаются [19]. Одновременно можно получить более высокое качество очищенной воды. Как показало исследование, ультрафильтрационный блок эффективно задерживает взвешенные вещества и самые мелкие частицы коллоидного железа за счет размера мембранных пор  $d = 30\text{--}1000 \text{ \AA}$ ; при рабочем давлении  $0,2\text{--}1,0 \text{ МПа}$  удаляются частицы размером до  $0,005 \text{ мкм}$  [32].

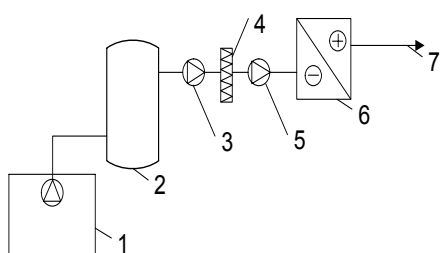


Рис. 1. Технологическая блок-схема водоподготовительной установки:  
1 – заборная скважина; 2 – бак-аккумулятор;  
3, 5 – центробежный насос;  
4 – ультрафильтрационный модуль;  
6 – тепловой насос; 7 – линия поставки тепловой энергии потребителям

Fig. 1. The technological diagram of water treatment device: 1 – intake well; 2 – tank;  
3, 5 – centrifugal pump; 4 – ultrafiltration unit; 6 – heat pump;  
7 – line of delivery of thermal energy to consumers

С другой стороны, компрессор – важнейшая и самая дорогая часть теплового насоса [15]. Именно он обеспечивает реализацию термодинамического цикла и потребляет основное количество электроэнергии. Без его совершенствования невозможно добиться существенного повышения эффективности и надежности работы теплонасоса, использовать в качестве рабочих тел экологически безопасные фреоны [15, 19, 25]. Большое значение для потребителя имеет и снижение уровня его шумового воздействия.

Самым распространенным типом компрессора в настоящее время является поршневой, а происходящие в нем процессы изучены достаточно подробно [18]. Эксергетический анализ пароконденсационных ТНУ с поршневыми компрессорами также показывает, что наибольшие потери эксергии имеют место в компрессоре (около 20 % от подведенной к установке эксергии) [19].

Регулирование производительности компрессоров чаще всего осуществляется ступенчато, путем их периодического пуска и останова, однако это приводит к сокращению сроков их службы и не позволяет в полной мере использовать энергосберегающий потенциал тепловых насосов вследствие их работы в нерасчетных переходных режимах [3]. Наиболее прогрессивным в настоящее время способом регулирования производительности компрессора является изменение скорости вращения вала с помощью электронных микропроцессорных устройств [1].

Авторами статьи проведено экспериментальное исследование энергетических характеристик теплонасосной установки типа «вода – воздух» с применением частотного преобразователя для регулирования производительности компрессора. Для проведения эксперимента к поршневому компрессору теплового насоса был подключен частотный преобразователь Siemensmicromaster 420 с диапазоном измерения частоты переменного

тока 0–650 Гц, рассчитанный на номинальную мощность 2,2 кВт, и счетчик электроэнергии ВФМ 136.

Грунтовая вода после блока предварительной очистки центробежным насосом подается в испаритель теплового насоса. Измеренные энергетические характеристики кругового процесса в ТНУ позволили определить энергетические параметры ее работы, представленные на графиках рис. 2, 3.

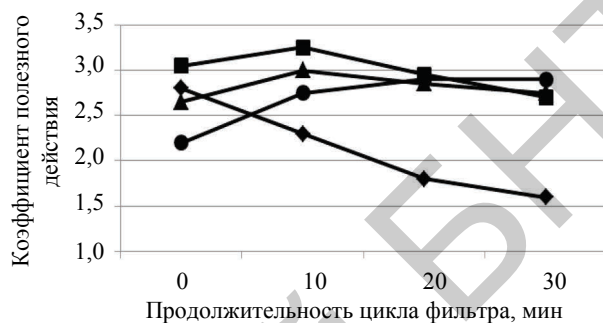


Рис. 2. Определение оптимальной продолжительности обратной промывки ультрафильтрационного блока УФУ:

■ — 40; ◆ — 30; ▲ — 20; ● — 10

Fig. 2. Determination of back flushing time optimal duration of the ultrafiltration unit of “UFU”: ■ — 40; ◆ — 30; ▲ — 20; ● — 10

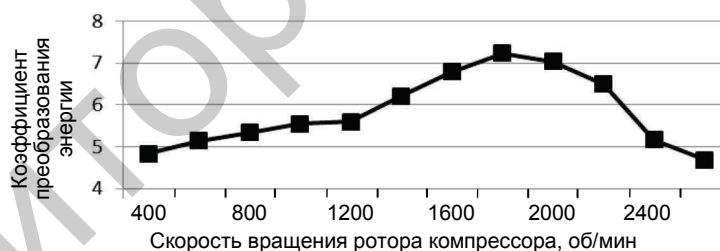


Рис. 3. Зависимость коэффициента преобразования энергии от числа оборотов компрессора

Fig. 3. Energy conversion dependency on the number of revolutions of the compressor

Энергетическая эффективность теплового насоса характеризуется коэффициентом преобразования энергии (КПЭ):

$$\mu = \frac{Q_{\text{п}}}{N_{\text{км}}},$$

где  $Q_{\text{п}}$  – произведенная теплота;  $N_{\text{км}}$  – мощность в тепловом эквиваленте, или механическая энергия, затраченная на привод компрессора.

### Результаты исследований

Результаты экспериментального исследования показателей качества умягченной воды представлены на рис. 2.

По итогам экспериментов на рис. 3 построены зависимости коэффициента преобразования энергии от числа оборотов компрессора, что указывает на эффективное значение КПЭ в диапазоне  $\mu = 5,55-7,23$  при  $n = 1400-2150$  об/мин.

### ВЫВОДЫ

1. Предложена усовершенствованная схема подготовки исходной воды для теплового насоса на основе комбинирования мембранной ультрафильтрации и технологии умягчения воды. Такое решение позволило уменьшить нагрузку на фильтры и исключить использование химических реагентов, применяемых в классических схемах водоподготовительных установок. Полученные в ходе экспериментов и определенные расчетным путем значения коэффициента преобразования энергии теплового насоса согласуются между собой в пределах погрешностей эксперимента с регулированием производительности компрессора.

2. Разработанная экспериментальная установка позволила определить зависимость основных характеристик блока теплонасосной установки от числа оборотов компрессора и найти эффективный диапазон его регулирования (50–180 %). Полученные результаты позволяют спроектировать водоподготовительную установку с использованием теплонасосных установок с системами качественного регулирования, которые обеспечат более глубокое регулирование мощности и температурных режимов, лучшее согласование с изменяющимися параметрами источников теплоты систем теплоснабжения и окружающей среды, а также высокую экономичность в процессе эксплуатации.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Krishnamoorthy, S. Efficiency Optimization of a Variable-Capacity/Variable-Blower-Speed Residential Heat-Pump System with Ductwork / S. Krishnamoorthy, M. Modera, C. Harrington // *Energy and Buildings*. 2017. Vol. 150. P. 294–306. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.066>.
2. Study on Optimization of Underground Water Source Heat Pump / Z. Kang [et al.] // *Procedia Engineering*. 2017. Vol. 205. P. 1691–1697. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.353>.
3. Многотемпературный тепловой насос с каскадным включением компрессоров / М. Л. Шит [и др.] // *Проблемы региональной энергетики*. 2017. Т. 34, № 2. С. 90–97.
4. Optimal Operation, Configuration and Sizing of Generation and Storage Technologies for Residential Heat Pump Systems in the Spotlight of Self-Consumption of Photovoltaic Electricity / T. Beck [et al.] // *Applied Energy*. 2017. Vol. 188. P. 604–619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.041>.
5. Design of Serially Connected District Heating Heat Pumps Utilising a Geothermal Heat Source / J. K. Jensen [et al.] // *Energy*. 2017. Vol. 137. P. 865–877. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.164>.
6. Heat Roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems / A. David [et al.] // *Energies*. 2017. Vol. 10, No 4. P. 1–18. <https://doi.org/10.3390/en10040578>.
7. Large Heat Pumps in Swedish District Heating Systems / H. Averfalk [et al.] // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 79. P. 1275–1284. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.135>.
8. Simulation, Implementation and Monitoring of Heat Pump Load Shifting Using a Predictive Controller / J. Allison [et al.] // *Energy Conversion and Management*. 2017. Vol. 150. P. 890–903. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.093>.
9. Чичерин, С. В. Методика планирования нагрузок системы централизованного теплоснабжения / С. В. Чичерин, С. В. Глухов // *Градостроительство и архитектура*. 2017. Т. 7, № 3. С. 129–136. <https://doi.org/10.17673/Vestnik.2017.03.22>.

10. Тепловые насосы для ТЭЦ и теплофикационных ПГУ: «территория заблуждений» и направления развития / В. Е. Михайлов [и др.] // Энергетик. 2017. № 3. С. 7–12.
11. Чичерин, С. В. О вопросах реконструкции систем теплоснабжения в городах России и стран СНГ / С. В. Чичерин // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2017. Т. 997, № 9. С. 34–35.
12. Janghorban Esfahani, I. Evaluation and Optimization of a Multi-Effect Evaporation-Absorption Heat Pump Desalination Based Conventional and Advanced Exergy and Exergo-economic Analyses / I. Janghorban Esfahani, S. Lee, C. Yoo // Desalination. 2015. Vol. 359. P. 92–107. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.12.030>.
13. Comparative Assessment of Different Categories of Absorption Heat Transformers in Water Desalination Process / K. Parham [et al.] // Desalination. 2016. Vol. 396. P. 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.05.031>.
14. Stormwater Management by Microfiltration and Ultrafiltration Treatment / A. D. Ortega Sandoval [et al.] // Journal of Water Process Engineering. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.07.018>.
15. Šarevski, M. N. Thermal Characteristics of High-Temperature R718 Heat Pumps with Turbo Compressor Thermal Vapor Recompression / M. N. Šarevski, V. N. Šarevski // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 117. P. 355–365. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.02.035>.
16. Шит, М. Л. Система автоматической стабилизации давления перед испарителями в многофункциональном тепловом насосе / М. Л. Шит, А. А. Журавлев // Проблемы региональной энергетики. 2017. Т. 33, № 1. С. 93–99.
17. Leonzio, G. Mathematical Model of Absorption and Hybrid Heat Pump / G. Leonzio // Chinese Journal of Chemical Engineering. 2017. Vol. 25, No 10. P. 1492–1504. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2017.06.015>.
18. Experimental Study of Enhancing Heating Performance of the Air-Source Heat Pump by Using a Novel Heat Recovery Device Designed for Reusing the Energy of the Compressor Shell / B. Huang [et al.] // Energy Conversion and Management. 2017. Vol. 138. P. 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.01.061>.
19. Ганеев, Р. Ш. Компьютерное исследование эксергетического коэффициента полезного действия контура теплового насоса с аппроксимацией термодинамических свойств фреона R407C / Р. Ш. Ганеев, Э. Н. Самигуллина, Р. Ф. Маннанова // Вестник Московского энергетического института. 2017. № 1. С. 6–12.
20. A Comprehensive Approach to Find the Performance Map of a Heat Pump Using Experiment and Soft Computing Methods / M. H. Moradi [et al.] // Energy Conversion and Management. 2017. Vol. 153. P. 224–242. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.09.070>.
21. Techno-Economic Analysis of Air Source Heat Pump Applied for Space Heating in Northern China / Q. Zhang [et al.] // Applied Energy. 2017. Vol. 207. P. 533–542. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.083>.
22. A High-Efficient Centrifugal Heat Pump with Industrial Waste Heat Recovery for District Heating / B. Hu [et al.] // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 125. P. 359–365. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.030>.
23. Amoabeng, K. O. A Study on the Performance Characteristics of a Testing Facility for a Water-to-Water Heat Pump / K. O. Amoabeng, K. H. Lee, J. M. Choi // International Journal of Refrigeration. 2018. Vol. 86. P. 113–126. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.11.013>.
24. Numerical Study on the Optimal Design of Injection-Hole Geometries of a Twin Rotary Compressor in a Liquid Injection Heat Pump / Y. Jeon [et al.] // Applied Thermal Engineering. 2017. Vol. 113. P. 1178–1188. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.115>.
25. Математическая модель теплового расчета конденсаторов тепловых насосов, использующих в качестве рабочих агентов неазеотропные смеси предельных углеводородов / А. П. Усачев [и др.] // Научно-технические проблемы совершенствования и развития систем газотеплоснабжения. 2017. Т. 1, № 1. С. 123–128.
26. Коваленко, Н. В. Тепловые насосы для отопления железнодорожных объектов / Н. В. Коваленко, Е. Н. Пирогов, В. А. Семеновых // Путь и путевое хозяйство. 2017. № 6. С. 32–35.
27. Чичерин, С. В. Наружная коррозия как основная причина повреждаемости тепловых сетей и способы защиты от нее / С. В. Чичерин // Вестник Московского энергетического института. 2017. № 4. С. 50–54. <https://doi.org/10.24160/1993-6982-2017-4-50-54>.
28. Low-Cost Control System Built upon Consumer-Based Electronics for Supervisory Control of a Gas-Operated Heat Pump. Part 2 / R. Wetherington [et al.] // ASHRAE Transactions. 2017. Vol. 123. P. 72–79.

29. Monitoring of Gas Driven Absorption Heat Pumps and Comparing Energy Efficiency on Primary Energy / M. Fumagalli [et al.] // *Renewable Energy*. 2017. Vol. 110. P. 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.058>.
30. Чичерин, С. В. Анализ проектных решений, связанных с расположением измерительных пунктов системы оперативного дистанционного контроля / С. В. Чичерин // *Автоматизация и ИТ в энергетике*. 2017. № 12. С. 12–15.
31. Saprykina, N. Yu. Investigation of the Formation of the Temperature Field of Soil during the Operation Geothermal Heat Pumps under the Influence of Groundwaters / N. Yu. Saprykina, P. V. Yakovlev // *Russian Journal of Building Construction and Architecture*. 2017. Vol. 36, No 4. P. 58–69.
32. Джунусова, Л.Р. Улучшение качества обессоленной воды на комбинированной ВПУ котельных / Л. Р. Джунусова // *Альтернативная энергетика и экология (ISJAE)*. 2016. №. 23. С. 167–176. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2015.23.02>.

Поступила 03.01.2018 Подписана в печать 20.03.2018 Опубликована онлайн 27.07.2018

#### REFERENCES

1. Krishnamoorthy S., Modera M., Harrington C. (2017) Efficiency Optimization of a Variable-Capacity/Variable-Blower-Speed Residential Heat-Pump System with Ductwork. *Energy and Buildings*, 150, 294–306. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.05.066>.
2. Kang Z., Zhou X., Zhao Y., Wang R., Wang X. (2017) Study on Optimization of Underground Water Source Heat Pump. *Procedia Engineering*, 205, 1691–1697. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.353>.
3. Shit M. L., Starikov A. V., Zhuravlev A. A., Timchenko D. V. (2017) Multi-Temperature Heat Pump with Cascade Compressor Connection. *Problemy Regional'noi Energetiki* [Problems of the Regional Energetics], 34 (2), 90–97 (in Russian).
4. Beck T., Kondziella H., Huard G., Bruckner T. (2017) Optimal Operation, Configuration and Sizing of Generation and Storage Technologies for Residential Heat Pump Systems in the Spotlight of Self-Consumption of Photovoltaic Electricity. *Applied Energy*, 88, 604–619. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.041>.
5. Jensen J. K., Ommen T., Markussen W. B., Elmegaard B. (2017) Design of Serially Connected District Heating Heat Pumps Utilising a Geothermal Heat Source. *Energy*, 137, 865–877 <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.164>.
6. David A., Mathiesen B. V., Averfalk H., Werner S., Lund H. (2017) Heat Roadmap Europe: Large-Scale Electric Heat Pumps in District Heating Systems. *Energies*, 10 (4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/en10040578>.
7. Averfalk H., Ingvarsson P., Persson U., Gong M., Werner S. (2017) Large Heat Pumps in Swedish District Heating Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 1275–1284. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.135>.
8. Allison J., Cowie A., Galloway S., Hand J., Kelly N. J., Stephen B. (2017) Simulation, Implementation and Monitoring of Heat Pump Load Shifting Using a Predictive Controller. *Energy Conversion and Management*, 150, 890–903. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.093>.
9. Chicherin S. V., Glukhov S. V. (2017) Centralized Heat Supply System and Techniques of Planning its Loads. *Gradostroitel'stvo i Arkhitektura* [Urban Construction and Architecture], 7, (3), 129–136 (in Russian). <https://doi.org/10.17673/vestnik.2017.03.22>.
10. Mikhailov V. E., Vertkin M. A., Kolpakov S. P., Kruglikov P. A., Sukhorukov Yu. G. (2017) Heat Pumps for CHP Plants: “the Areas of the Misconceptions” and Further Development. *Energetik* [Energetik], (3), 7–12 (in Russian).
11. Chicherin S. V. (2017) On the Problems of Reconstruction of Systems of Heat Supply in the Cities of Russia and CIS Countries. *BST – Byulleten' Stroitel'noi Tekhniki* [BST – Bulletin of Construction Equipment], 997 (9), 34–35 (in Russian).
12. Janghorban Esfahani I., Lee S., Yoo C. (2015) Evaluation and Optimization of a Multi-Effect Evaporation-Absorption Heat Pump Desalination Based Conventional and Advanced Exergy and Exergoeconomic Analyses. *Desalination*, 359, 92–107. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2014.12.030>.
13. Parham K., Khamooshi M., Daneshvar S., Assadi M., Yari M. (2016) Comparative Assessment of Different Categories of Absorption Heat Transformers in Water Desalination Process. *Desalination*, 396, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2016.05.031>.
14. Ortega Sandoval A. D., Vandr e Barbosa Bri ao, Vera Maria Cartana Fernandes, Augusto Hemkemeier, Maria Tereza Friedrich (2017) Stormwater Management by Microfiltration and Ultrafiltration Treatment. *Journal of Water Process Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.07.018>.



15. Šarevski M. N., Šarevski V. N. (2017) Thermal Characteristics of High-Temperature R718 Heat Pumps with Turbo Compressor Thermal Vapor Recompression. *Applied Thermal Engineering*, 117, 355–365. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.02.035>.
16. Shit M. L., Zhuravlev A. A. (2017) Automatic Pressure Stabilization in Front of the Evaporators in the Multifunctional Heat Pump. *Problemy Regional'noi Energetiki* [Problems of Regional Power Engineering], 33 (1), 93–99 (in Russian).
17. Leonzio G. (2017) Mathematical Model of Absorption and Hybrid Heat Pump. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 25 (10), 1492–1504. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2017.06.015>.
18. Huang Bi, Jian Q., Luo L., Zhao J. (2017) Experimental Study of Enhancing Heating Performance of the Air-Source Heat Pump by Using a Novel Heat Recovery Device Designed for Reusing the Energy of the Compressor Shell. *Energy Conversion and Management*, 138, 38–44. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.01.061>.
19. Ganeev R. Sh., Samigullina E. N., Mannanova R. F. (2017) Computer Study of the Exergy Efficiency of the Heat Pump Circuit with Approximation of Thermodynamic Properties of Freon R407C. *Vestnik Moskovskogo Energeticheskogo Instituta = MPEI Vestnik*, (1), 6–12 (in Russian).
20. Moradi M. H., Sohani A., Zabihigivi M., Wirbser H. (2017) A Comprehensive Approach to Find the Performance Map of a Heat Pump Using Experiment and Soft Computing Methods. *Energy Conversion and Management*, 153, 224–242. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.09.070>.
21. Zhang Q., Zhang L., Nie J., Li Y. (2017) Techno-Economic Analysis of Air Source Heat Pump Applied for Space Heating in Northern China. *Applied Energy*, 207, 533–542. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.06.083>.
22. Hu B., Liu H., Wang R.Z., Li H., Zhang Z., Wang S. (2017) A High-Efficient Centrifugal Heat Pump with Industrial Waste Heat Recovery for District Heating. *Applied Thermal Engineering*, 125, 359–365. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.07.030>.
23. Amoabeng K. O., Lee K. H., Choi J. M. A. (2018) Study on the Performance Characteristics of a Testing Facility for a Water-to-Water Heat Pump. *International Journal of Refrigeration*, 86, 113–126. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2017.11.013>.
24. Jeon Y., Sang Hun Lee, Kim W., Jung J., Kim Y. (2017) Numerical Study on the Optimal Design of Injection-Hole Geometries of a Twin Rotary Compressor in a Liquid Injection Heat Pump. *Applied Thermal Engineering*, 113, 1178–1188. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.11.115>.
25. Usachev A. P., Rulev A. V., Usacheva E. Yu., Somov N. O. (2017) Mathematical Model of Heat Calculation of Heat Pump Condensers Using Non-Azeotropic Mixtures of Saturated Hydrocarbons as Working Agents. *Nauchno-Tekhnicheskie Problemy Sovershenstvovaniya i Razvitiya Sistem Gazoenergostabzheniya* [Scientific and Technical Problems of Improvement and Development of Gas and Energy Supply Systems], 1 (1), 123–128 (in Russian).
26. Kovalenko N., Pirogov E., Semenovih V. (2017) Heat Pumps for Heating Rail Services. *Put' i Putevoe Khozyaistvo = Railway Track and Facilities*, 6, 32–35 (in Russian).
27. Chicherin S. V. (2017) External Corrosion as the Main Factor Causing Damage to Heat Supply Networks and Methods to Protect Against it. *Vestnik MEI*, (4), 50–54 (in Russian). <https://doi.org/10.24160/1993-6982-2017-4-50-54>.
28. Wetherington R., Abu-Heiba A., Mahderekal I., Vineyard E. (2017) Low-Cost Control System Built upon Consumer-Based Electronics for Supervisory Control of a Gas-Operated Heat Pump. Part 2. *ASHRAE Transactions*, 123, 72–79.
29. Fumagalli M., Sivieri A., Aprile M., Motta M., Zanchi M. (2017) Monitoring of Gas Driven Absorption Heat Pumps and Comparing Energy Efficiency on Primary Energy. *Renewable Energy*, 110, 115–125. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.058>.
30. Chicherin S. V. (2017) The Analysis of Design Solutions Associated with the Location of Measuring Points of the Operational Remote Control System. *Avtomatizatsiya i IT v Energetike* [Automation and IT in Power Engineering], (12), 12–15 (in Russian).
31. Saprykina N. Yu., Yakovlev P. V. (2017) Investigation of the Formation of the Temperature Field of Soil during the Operation Geothermal Heat Pumps under the Influence of Groundwaters. *Russian Journal of Building Construction and Architecture*, 36 (4), 58–69.
32. Junussova L. R. (2016) Improving the Quality of Desalinated Water with Combined Water Treatment Plant Boiler. *Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*, 23, 167–176 (in Russian). <https://doi.org/10.15518/isjaee.2015.23.021>.