

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ, СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-867-874

OPERATING PARAMETERS OF ABSORPTION REFRIGERATION UNIT INFLUENCE ON THE ZONE OF DEGASSING

E. V. Bogatyreva

Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russian Federation

For small vessels of the fishing fleet of the Crimean region, the problem of cargo safety is acute. Vessels are equipped with compression refrigeration units that do not provide the vessel with the required amount of cold due to the removal of the fishery from the base. In compressor refrigeration plants, electric energy is spent to perform the work of compressing the refrigerant. It is possible to use recycling absorption refrigeration units on such vessels. It seemed possible to use the energy of the exhaust gases to heat the water-ammonium mixture. Currently, the exhaust heat of the internal combustion engine is widely used for the operation of refrigeration plants and air conditioning systems. To achieve the required cooling capacity, it is possible to implement a two-stage cooling cycle, which entails an increase in mass-overall parameters of the equipment. As known, an increase in temperature of the cooling source negatively affects the cooling capacity. In the Azov-Black Sea basin in the warm period of the year, the water temperature reaches 25 °C. To ensure reliable operation of the absorption refrigeration unit, the circulation rate of the water-ammonium solution should be more than one. Otherwise, all the liquid will evaporate in the generator and the solution will not return to the absorber. It is not possible to absorb the vapour leaving the evaporator. At the same time increase of circulation multiplicity leads to increase of mass flow rate of circulating solution, which negatively affects mass-overall parameters of the unit. The effect of operational parameters of the utilization absorption water-ammonium refrigerator on the degassing zone is examined in the paper. It is shown that with the specified operating parameters, the degassing zone allows a single-stage cycle with the required cooling capacity.

Keywords: absorption refrigeration unit, water-ammonium mixture, degassing zone, circulation multiplicity, mass-overall parameters, solution concentration, heating medium, cooling medium, exhaust gases, single-stage cycle.

For citation:

Bogatyreva, Elena V. "Operating parameters of absorption refrigeration unit influence on the zone of degassing." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.6 (2021): 867–874. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-867-874.

УДК 621.574.013–932.2

ВЛИЯНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ АБСОРБЦИОННОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ НА ЗОНУ ДЕГАЗАЦИИ

Е. В. Богатырева

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»,
Керчь, Российская Федерация

В работе рассмотрена актуальная для малых судов рыболовного флота Крымского региона проблема сохранности груза. Отмечается, что данные суда оснащены компрессионными холодильными установками, не обеспечивающими их необходимым количеством холода в связи с удалением промысла от места базирования. Отмечается, что в компрессорных холодильных установках затрачивается электрическая энергия на совершение работы сжатия холодильного агента. На таких судах представляется возможным применение утилизационных абсорбционных холодильных установок, в которых реализовано использование энергии отработавших газов для нагрева водоаммиачной смеси. Подчеркивается, что в настоящее время широко используется теплота отработавших газов двигателя внутреннего сгорания для работы холодильных установок и систем кондиционирования. Для достижения требуемой холодопроизводительности возможно осуществление двухступенчатого холодильного цикла, что влечет увеличение массогабаритных показателей

оборудования. Известно, что повышение температуры охлаждающего источника негативно сказывается на холодопроизводительности. В Азово-Черноморском бассейне в теплый период года температура воды достигает 25 °С, поэтому для обеспечения надежной работы абсорбционной холодильной установки кратность циркуляции водоаммиачного раствора должна быть больше единицы, в противном случае в генераторе испарится вся жидкость, и раствор не возвратится в абсорбер. При этом невозможно осуществить абсорбцию пара, уходящего из испарителя. В то же время повышение кратности циркуляции приводит к увеличению массового расхода циркулирующего раствора, что негативно сказывается на массогабаритных показателях установки. В работе исследовано влияние эксплуатационных параметров утилизационной абсорбционной водоаммиачной холодильной машины на зону дегазации. Показано, что при указанных эксплуатационных параметрах зона дегазации позволяет осуществить одноступенчатый цикл с обеспечением требуемой холодопроизводительности.

Ключевые слова: абсорбционная холодильная установка, водоаммиачная смесь, зона дегазации, кратность циркуляции, массогабаритные показатели, концентрация раствора, греющая среда, охлаждающая среда, уходящие газы, одноступенчатый цикл.

Для цитирования:

Богатырева Е. В. Влияние эксплуатационных параметров абсорбционной холодильной установки на зону дегазации / Е. В. Богатырева // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 6. — С. 867–874. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-6-867-874.

Введение (Introduction)

В настоящее время суда рыбопромыслового флота Крымского региона (Азово-Черноморский бассейн) имеют тенденцию удаляться от места базирования. Часть таких судов изначально не оборудована холодильными установками, что создает проблему сохранности груза в теплое время года при удалении от мест базирования. На малых судах, оборудованных компрессорными холодильными установками, электрическая энергия затрачивается на совершение работы сжатия холодильного агента. В настоящее время в рамках энергосбережения все большее распространение получают *теплоиспользующие холодильные машины*. В частности, на таких судах возможна установка утилизационных абсорбционных холодильных машин (АБХМ). Такие машины могут использовать пар утилизационного котла, работающего на отработавших газах судового главного двигателя внутреннего сгорания. Одним из требований, предъявляемых к новому оборудованию в целом и к АБХМ в частности является соблюдение минимально возможных массогабаритных показателей. Для этого необходимо, чтобы требуемая холодопроизводительность обеспечивалась одноступенчатым циклом.

Энергосбережению и, как следствие, энергетической эффективности холодильных машин посвящены работы [1]–[5]. Теплоиспользующие холодильные машины рассмотрены в работах [1], [2], [6]–[8]. Наряду с аммиачными, рассматриваются утилизационные бромисто-литиевые холодильные машины [9], которые, однако, не способны обеспечить низкие температуры для хранения улова. Таким образом, для решения поставленной задачи следует исследовать возможность использования на малых судах промыслового флота утилизационной абсорбционной одноступенчатой холодильной машины.

Целью данной работы является оценка возможности осуществления одноступенчатого цикла путем исследования зависимости зоны дегазации от эксплуатационных параметров АБХМ на малых промысловых судах, работающих в Азово-Черноморском бассейне в теплый период года.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Поставленная задача исследований решалась при помощи использования известных методик, применяемых в работе [10]. На результаты расчета цикла значительное влияние оказывает кратность циркуляции, которая зависит от концентрации растворов в установке и определяется по выражению:

$$f = \frac{\xi_d - \xi_a}{\xi_r - \xi_a}, \quad (1)$$

где ξ_d , ξ_a , ξ_r — соответственно концентрация раствора после конденсатора, слабого раствора после генератора (кипятильника) и крепкого раствора после абсорбера.

Из выражения (1) следует, что на кратность циркуляции большое влияние оказывает зона дегазации, т. е. $(\xi_r - \xi_a)$. В водоаммиачных АБХМ действительная зона дегазации должна быть больше 6 %, в противном случае резко возрастает кратность циркуляции, и работа АБХМ становится неустойчивой [11].

Для обеспечения работоспособности установки при $(\xi_r - \xi_a) < 0,06$ используются многоступенчатые циклы, что вызывает существенное ее усложнение. В данном случае греющей средой для работы АБХМ является насыщенный пар, производимый утилизационным паровым котлом, использующим теплоту уходящих газов. Температура пара зависит от давления в котле. Изначально предполагалось использовать греющий пар давлением не более $p = 1$ МПа, исходя из соображений безопасности, поэтому диапазон изменения температуры греющего источника составил $t_h = (100-170)^\circ\text{C}$.

В качестве охлаждающей среды АБХМ планируется использовать забортную воду. Температура охладителя t_w оказывает влияние на давление конденсации паров аммиака. Диапазон ее изменения принят $15-25^\circ\text{C}$, что соответствует температурному режиму Азово-Черноморского бассейна в теплый период года. Давление в конденсаторе p_k и давление кипения в генераторе p_2 равны и определяются по температуре конденсации чистого аммиака. Если повышать давление конденсации при постоянной температуре греющего источника t_h , то температура конденсации чистого аммиака увеличивается, соответственно, растет концентрация слабого раствора после генератора, и, как следствие, уменьшается зона дегазации (рис. 1, а).

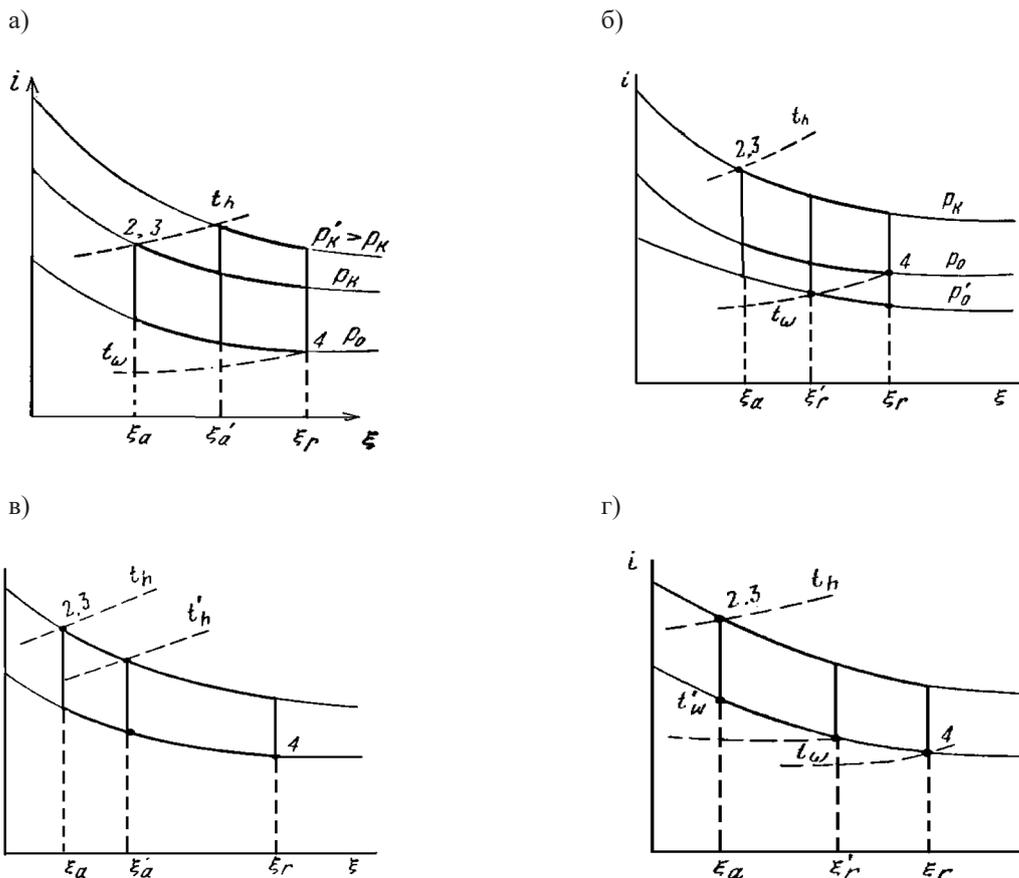


Рис. 1. Зона дегазации при: а — увеличении давления конденсации; б — при уменьшении давления кипения; в — при понижении температуры греющего источника; г — при повышении температуры охлаждающей воды

Влияние давления в генераторе на зону дегазации исследовалось при температуре греющего пара $t = t_h = (140-160)^\circ\text{C}$. В соответствии с выбранным диапазоном изменения температуры охлаждающей

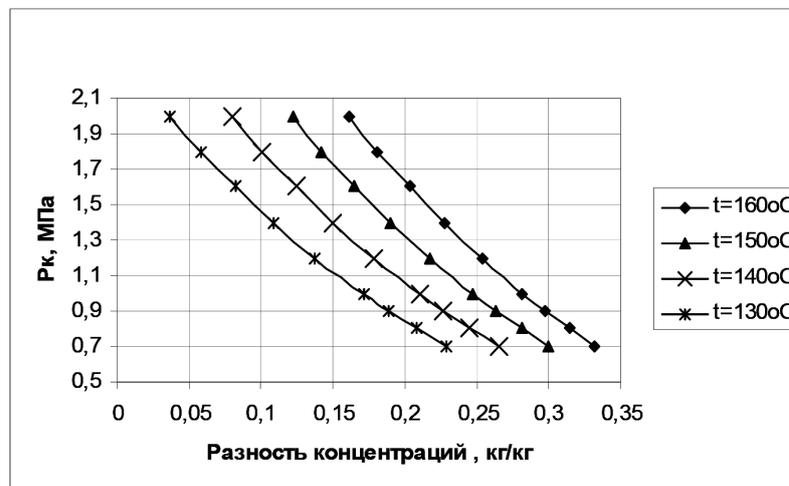
воды давления в генераторе были приняты в интервале $p_k = (0,6-2,0)$ МПа. Известно, что уменьшение давления в абсорбере, которое равно давлению в испарителе p_0 , при неизменной температуре охлаждающей среды приводит к меньшей концентрации крепкого раствора (рис. 1, б).

Как следует из рис. 1, в, понижение температуры греющего источника при неизменном давлении конденсации вызывает повышение концентрации слабого раствора на выходе из генератора. Оценка влияния температуры греющего источника на разность концентраций выполнялась при различных значениях давления конденсации.

Результаты (Results)

Зависимость $(\xi_r - \xi_a)$ от p_k представлена на рис. 2, а. Анализ полученных зависимостей показал, что зона дегазации становится меньше допустимого значения для $t_h \leq 130^\circ\text{C}$ и $p_k > 1,8$ МПа. При давлении в генераторе $p_k = 1,8$ МПа, но при $t_h = 140^\circ\text{C}$, зона дегазации имеет допустимые значения для осуществления одноступенчатого цикла АБХМ.

а)



б)

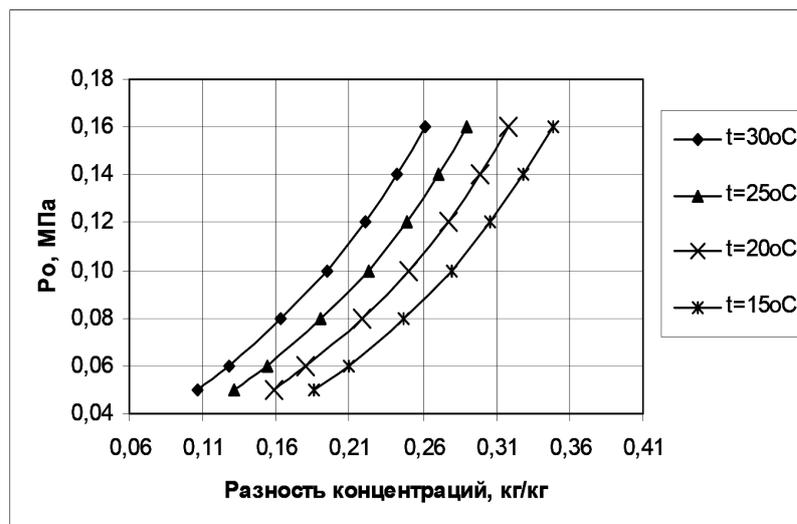


Рис. 2. Влияние давления в генераторе на зону дегазации при различных значениях температуры греющего пара (а) и охлаждающей воды (б)

На рис. 2, б представлены результаты исследований влияния давления кипения в испарителе на зону дегазации для диапазона температур охлаждающей воды $t_w = t (15...30)^\circ\text{C}$. В интервале

давлений $p_0 = (0,05 \dots 0,16)$ МПа и исследуемых температур зона дегазации находится в допустимых пределах.

Из рис. 3 следует, что значения давлений $p_k = (0,9-1,2)$ МПа и температур $t_h = (110-160)$ °С, в зоне дегазации меньше допустимых при $p_k > 1,2$ МПа, $t_h < 112$ °С.

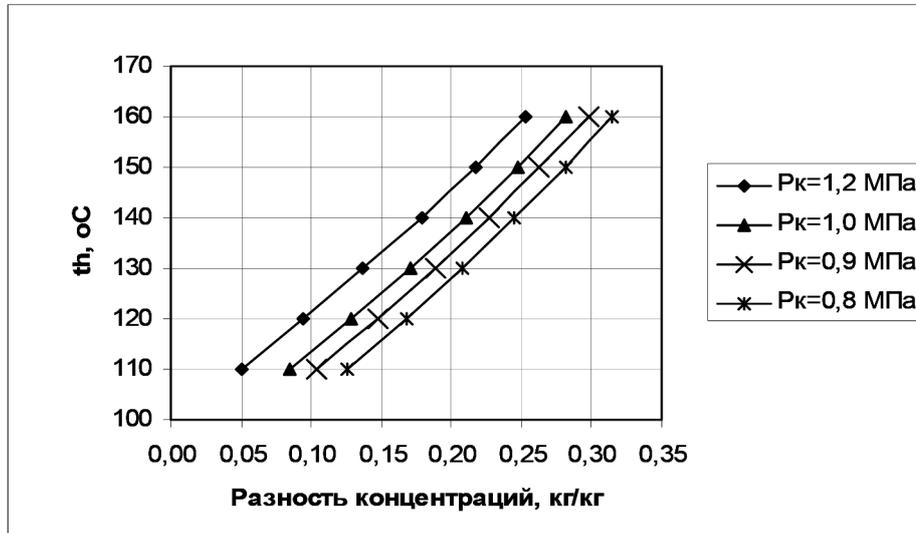


Рис. 3. Влияние температуры греющего источника на разность концентраций при различных давлениях конденсации аммиака

Ранее (см. рис. 1, а, рис. 2, а) отмечалось, что повышение давления конденсации p_k при постоянной температуре греющего пара t_h ведет к уменьшению зоны дегазации. Так, при $t_h = 112$ °С, но при $p_k = 1,0$ МПа зона дегазации уже находится в допустимых пределах. Известно также, что повышение температуры охлаждающей среды приводит к понижению концентрации крепкого (см. рис. 1, з), а давление кипения в испарителе определяется по требуемой температуре в холодильной камере. Низшая требуемая температура в холодильной камере рассматриваемой АБХМ $t_s = -15$ °С. Данной температуре соответствует давление кипения в испарителе $p_0 = 0,15$ МПа. Результаты исследований влияния температуры охлаждающей воды на разность концентраций при различных значениях давления конденсации и температуры греющего пара (температура кипения в испарителе $t_s = -15$ °С) приведены на рис. 4.

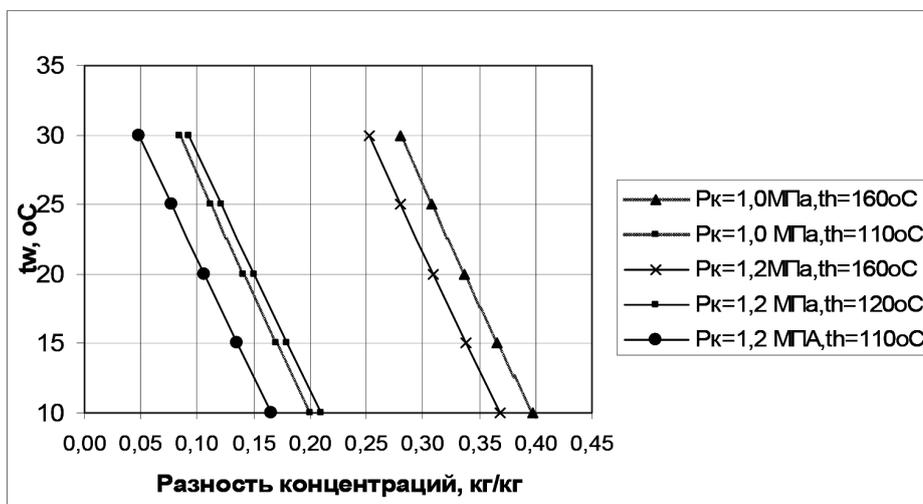


Рис. 4. Влияние температуры охлаждающей воды на разность концентраций при различных значениях давления конденсации и температуры греющего пара

Обсуждение (Discussion)

Результаты исследований показали, что при давлении конденсации $p_k = (1,0-1,2)$ МПа и, соответственно, температуре греющего пара $t = t_h = (110-160)$ при $p_k = 1,2$ МПа требуемый предел разности концентраций обеспечивается при температуре $t_h > 120$ °С греющего источника. При давлении конденсации аммиака $p_k = 1,0$ МПа и ниже разность концентрации находится в допустимых пределах в интервале температур $t_h = (110...160)$.

Усовершенствованию циклов холодильных машин как за счет добавления новых элементов, так и вследствие оптимизации эксплуатационных параметров посвящены работы [12]–[16]. Включение в состав утилизационных АБХМ таких агрегатов, как дефлегматор, теплообменник и ректификактор не оказывает влияния на цикл жидкой фазы раствора, но повышает холодопроизводительность машины за счет доочистки паров аммиака от примесей водяных паров.

Заключение

Исследования АБХМ показали, что в интервале изменения температуры греющего пара $t_h = (110...160)$ и температуры охлаждающей воды $t_w = (15-25)$ °С ее работоспособность может быть обеспечена одноступенчатым циклом, что позволяет в дальнейшем оптимизировать эксплуатационные параметры применительно к малым рыболовным судам при промысле с теплой период года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Титлов А. С.* Поиск методов повышения энергетической эффективности абсорбционных холодильных приборов / А. С. Титлов [и др.] // Холодильная техника и технология. — 2017. — Т. 53. — № 2. — С. 21–28. DOI: 10.15673/ret.v53i2.591.
2. *Товарас Н. В.* Энергосбережение и энергоэффективность: утилизация тепловых выбросов / Н. В. Товарас, Н. В. Савкина // Холодильная техника. — 2019. — № 2. — С. 6–10.
3. *Sukhikh A. A.* Experimental and numerical investigations of heat regeneration process efficiency in a heat pump with a mixture of refrigerants / A. A. Sukhikh, I. S. Antanenkova, V. N. Kuznetsov, E. V. Mereutsa // International Journal of Energy for a Clean Environment. — 2016. — Vol. 17. — Is. 2–4. — Pp. 209–222. DOI: 10.1615/InterJEnerCleanEnv.2017019186.
4. *Yu F. W.* Cooling effectiveness of mist precooler for improving energy performance of air-cooled chiller / F. W. Yu, K. T. Chan, J. Yang, R. K. Y. Sit // Thermal Science. — 2018. — Vol. 22. — Is 1. — Pp. 193–204.
5. *Менделеев Д. И.* Исследование влияния условий эксплуатации на эффективность использования абсорбционно-холодильной машины в цикле газотурбинных и парогазовых установок / Д. И. Менделеев [и др.] // Вестник Иркутского государственного технического университета. — 2020. — Т. 24. — № 4 (153). — С. 821–831. DOI: 10.21285/1814-3520-2020-4-821-831.
6. *Титлова О. А.* Системы автоматического управления для повышения эффективности абсорбционных холодильных приборов / О. А. Титлова // Refrigeration Engineering and Technology. — 2016. — № 52 (1). — С. 86–94. DOI: 10.21691/ret.v52i1.35/.
7. *Мереуца Е. В.* Экспериментальное исследование термодинамической эффективности комплекса абсорбционной холодильной установки и теплового насоса / Е. В. Мереуца, А. А. Сухих // Вестник Международной академии холода. — 2019. — № 3. — С. 23–28. DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-3-23-28.
8. *Zúñiga-Puebla H. F.* Thermodynamic analysis of one and two stages absorption chiller powered by a co-generation plant / H. F. Zúñiga-Puebla, E. C. Vallejo-Coral, J. R. V. Galaz // Ingenius. — 2019. — № 21. — Pp. 41–52. DOI:10.17163/ings.n21.2019.04.
9. *Radchenko R.* Utilizing the heat of gas module by an absorption lithium-bromide chiller with an ejector booster stage / R. Radchenko, N. Radchenko, A. Tsoy, S. Forduy, Z. Anatoliy, I. Kalinichenko // AIP Conference Proceedings. — AIP Publishing LLC, 2020. — Vol. 2285. — Is. 1. — Pp. 030084. DOI: 10.1063/5.0026788.
10. *Сакун И. А.* Тепловые и конструктивные расчеты холодильных машин / И. А. Сакун. — Л.: Судостроение, 1983. — 328 с.
11. *Бадылькес И. С.* Абсорбционные холодильные машины / И. С. Бадылькес, Р. Л. Данилов. — М.: Москва, 1966. — 356 с.

12. Возможности оптимизации «небольших» систем холодоснабжения // Холодильная техника. — 2019. — № 6. — С. 10–13.

13. Талызин М. С. 8-я Международная конференция «Холодильные технологии с использованием аммиака и CO₂» / М. С. Талызин // Холодильная техника. — 2019. — № 5. — С. 44–45.

14. Осадчук Е. А. Математическое моделирование рабочих режимов дефлегматора абсорбционного водоаммиачного холодильного агрегата в системах получения воды из атмосферного воздуха с использованием солнечной энергии / Е. А. Осадчук, В. Х. Кириллов // Холодильная техника и технология. — 2017. — Т. 53. — № 1. — С. 11–19. DOI: 10.15673/ret.v53i1.534.

15. Холодков А. О. Моделирование тепловых режимов дефлегматора бытового абсорбционного холодильного агрегата / А. О. Холодков, А. С. Титлов, О. А. Титлова // Холодильная техника и технология. — 2017. — Т. 53. — № 4. — С. 4–11.

16. Pathak S. Design Investigation of 5 kW Organic Rankine Cycle (ORC) System Using Diffusion Absorption Refrigeration (DAR) for Cooling and Power Generation for India / S. Pathak, S. K. Shukla // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. — 2019. — Vol. 16. — Is. 2. — Pp. 35–42. DOI: 10.3233/AJW190017.

REFERENCES

1. Titlov, A. S., I. N. Ishchenko, O. A. Titlova, A. O. Kholodkov, and Yu. A. Ocheretyany. “Search of Methods for Increasing Absorption Refrigeration Devices Power Efficiency.” *Refrigeration engineering and technology* 53.2 (2017): 21–28.

2. Tovaras, N. V., and N. V. Savkina. “Energoberezhenie i energoeffektivnost’: utilizatsiya teplovykh vybrosov.” *Kholodil'naya tekhnika* 2 (2019): 6–10.

3. Sukhikh, Andrey A., I. S. Antanenkova, V. N. Kuznetsov, and E. V. Mereutsa. “Experimental and numerical investigations of heat regeneration process efficiency in a heat pump with a mixture of refrigerants.” *International Journal of Energy for a Clean Environment* 17.2–4 (2016): 209–222. DOI: 10.1615/InterJEnerClean Env.2017019186.

4. Yu, Fu Wing, K. T. Chan, J. Yang, and R. K. Y. Sit. “Cooling effectiveness of mist precooler for improving energy performance of air-cooled chiller.” *Thermal Science* 22.1 (2018): 193–204.

5. Mendeleev, Dmitrii I., Georgiy E. Marin, Yuri Ya. Galitskii, and Azat R. Akhmetshin. “Study of the effect of operating conditions on the efficiency of the absorption-refrigerating system in gas turbine and combined-cycle plants.” *Proceedings of Irkutsk State Technical University* 24.4(153) (2020): 821–831. DOI: 10.21285/1814-3520-2020-4-821-831.

6. Titlova, O. A. “Automatic control systems for improving the efficiency of absorption refrigeration units.” *Refrigeration Engineering and Technology* 52(1) (2016): 86–94. DOI: 10.21691/ret.v52i1.35.

7. Mereutsa, E. V., and Andrey Anatolyevich Sukhikh. “Experimental study of thermodynamic efficiency of the absorption refrigeration machine and heat pump complex.” *Journal of International Academy of Refrigeration* 3 (2019): 23–28. DOI: 10.17586/1606-4313-2019-18-3-23-28.

8. Zúñiga-Puebla, Hugo F., E. C. Vallejo-Coral, and Jose Ramon Vega Galaz. “Thermodynamic analysis of one and two stages absorption chiller powered by a cogeneration plant.” *Ingenius* 21 (2019): 41–52. DOI:10.17163/ings.n21.2019.04.

9. Radchenko R, N. Radchenko, A. Tsoy, S. Forduy, Z. Anatoliy, and I. Kalinichenko. “Utilizing the heat of gas module by an absorption lithium-bromide chiller with an ejector booster stage.” *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2285. No. 1. AIP Publishing LLC, 2020. DOI: 10.1063/5.0026788.

10. Sakun, I. A. *Teplovye i konstruktivnye raschety kholodil'nykh mashin*. L.: Sudostroenie, 1983.

11. Badyl'kes, I. S., and R. L. Danilov. *Absorbtsionnye kholodil'nye mashiny*. M.: Moskva, 1966.

12. “Vozmozhnosti optimizaczii «nebolshikh» sistem kholodosnabzheniya.” *Kholodil'naya tekhnika* 6 (2019): 10–13.

13. Talyzin, M. S. “8-ya Mezhdunarodnaya konferentsiya «Kholodil'nye tekhnologii s ispol'zovaniem ammiaka i SO₂».” *Kholodil'naya tekhnika* 5 (2019): 44–45.

14. Oсадчук, E. A., and V. Kh. Kirillov. “Mathematical Simulation of Operating Modes of Absorption WaterAmmonia Refrigeration Unit Rectifier in the Systems for Producing Water from Atmospheric Air Using Solar Energy.” *Refrigeration Engineering and Technology* 53.1 (2017): 11–19. DOI: 10.15673/ret.v53i1.534.

15. Kholodkov, A. O., A. S. Titlov, and O. A. Titlova. “Simulation of the Thermal Regime of the Reflux Condenser Domestic Absorption Refrigeration Unit.” *Refrigeration Engineering and Technology* 53.4 (2017): 4–11.

16. Pathak, Saurabh, and S. K. Shukla. “Design Investigation of 5 kW Organic Rankine Cycle (ORC) System Using Diffusion Absorption Refrigeration (DAR) for Cooling and Power Generation for India.” *Asian Journal of Water, Environment and Pollution* 16.2 (2019): 35–42. DOI: 10.3233/AJW190017.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Богатырева Елена Владимировна —
кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «Керченский государственный
морской технологический университет»
298309, Российская Федерация, Керчь,
ул. Орджоникидзе, 82
e-mail: arev_66@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Bogatyreva, Elena V. —
PhD, associate professor
Kerch State Maritime
Technological University
82 Ordzhonykydze Str., Kerch, 298309,
Russian Federation
e-mail: arev_66@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 8 ноября 2021 г.
Received: November 8, 2021.*