

Биохимический и пищевой инжиниринг Biochemical and Food Engineering

Научная статья

УДК 665.1

DOI: 10.14529/food220204

ПАРЭЖЕКТОРНЫЙ ТЕПЛОВОЙ НАСОС КАК ИСТОЧНИК АЛЬТЕРНАТИВНОЙ ЭНЕРГИИ В ТЕХНОЛОГИЯХ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**В.Н. Василенко^{1*}, А.А. Шевцов², Л.Н. Фролова¹, И.В. Драган¹,
И.Ю. Кочкин¹, И.Д. Еремин¹**

¹ Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия

² Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия

*vvn_1977@mail.ru

Аннотация. Разработке энергоэффективной теплонасосной технологии в масложировой промышленности предшествовали фундаментальные исследования, направленные на изучение основополагающих вопросов энергосбережения в тепловых и тепломассообменных процессах пищевой технологии с использованием парэжекторного теплового насоса. Благодаря развитию централизованных холодильных станций все чаще вводятся в эксплуатацию пароводяные эжекторные холодильные установки, подающие охлажденную воду в оросительные камеры кондиционеров. Эксплуатируя эти установки и делая технико-экономические расчёты, пришли к выводу, что, применяя эжекторные холодильные машины для технологических нужд и промышленного кондиционирования воздуха, иногда, особенно если есть вторичные энергоресурсы и возобновляемые источники энергии, получаем больший эффект, чем используя другие виды холодильных машин. С помощью парэжекторного теплового насоса создаются реальные условия утилизации пара низкого давления, в частности, бросовой теплоты газотурбинных установок и котельных агрегатов, что помогает качественно и эффективно решать задачи по энергосбережению. Экологически безопасные условия функционирования технологии обусловлены применением воды в качестве хладагента. Практически исключается применение токсичных, взрыво- и пожароопасных рабочих сред, поэтому предполагаемая теплонасосная технология растительных масел может рассматриваться как экологически безопасная. Используя эту технологию в масложировом производстве, можно повысить энергетическую эффективность в процессе получения растительных масел и создать безотходную и экологически чистую технологию. В разрабатываемой линии по производству растительного масла применяется парэжекторная холодильная машина, в которой процесс идет по замкнутому термодинамическому циклу. Рабочий пар из парогенератора подается в эжектор, часть конденсируемых паров из конденсатора через терморегулирующий вентиль отводится на пополнение воды в испаритель, а другая часть с помощью насоса подается в парогенератор. Процесс охлаждения продукта осуществляют водой, охлажденной в секции холодоприемника с подачей охлажденной воды в рубашку экспозитора с возвратом в секцию холодоприемника в режиме замкнутого цикла.

Ключевые слова: растительное масло, энергосбережение, парэжекторный тепловой насос

Благодарности. Статья подготовлена в рамках Гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых докторов наук (№ МД-387.2022.5).

Для цитирования: Парэжекторный тепловой насос как источник альтернативной энергии в технологиях пищевой промышленности / В.Н. Василенко, А.А. Шевцов, Л.Н. Фролова и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10, № 2. С. 34–42. DOI: 10.14529/food220204

© Василенко В.Н., Шевцов А.А., Фролова Л.Н., Драган И.В., Кочкин И.Ю., Еремин И.Д., 2022

Original article
DOI: 10.14529/food220204

STEAM JET PUMP AS A SOURCE OF ALTERNATIVE ENERGY IN PULP INDUSTRY TECHNOLOGY

V.N. Vasilenko^{1*}, A.A. Shevtsov², L.N. Frolova¹, I.V. Dragan¹,
I.Yu. Kochkin¹, I.D. Eremin¹

¹ Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia

² Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin
Air Force Academy, Voronezh, Russia

*vvn_1977@mail.ru

Abstract. The development of energy-efficient heat pump technology in the oil and fat industry was preceded by systematic research aimed at studying the fundamental issues of energy saving in heat and mass transfer processes of food technology using a steam jet heat pump. With the development of centralized refrigeration stations, steam-water ejector refrigeration units are increasingly used to supply chilled water to the spray chambers of air conditioners. The operating experience of such installations and technical and economic calculations show that the use of ejector refrigeration machines for industrial and technological needs and industrial air conditioning in some cases, especially in the presence of secondary energy resources and renewable energy sources, is more efficient than the use of other types of refrigeration machines. A steam jet heat pump creates real conditions for the utilization of low-pressure steam, in particular, waste heat from gas turbine plants and boiler units, and, as a result, allows you to effectively solve energy saving problems. Ecologically safe conditions for the functioning of the technology are due to the use of water as a refrigerant. The use of toxic, explosive and flammable working media is completely excluded, which allows us to consider the proposed heat pump technology of vegetable oils as environmentally safe. The use of this technology in the oil and fat industry will lead to an increase in the energy efficiency of the production of vegetable oils and the creation of a waste-free and environmentally friendly technology. The proposed line for the production of vegetable oil uses a steam ejector refrigeration machine operating in a closed thermodynamic cycle, while the working steam from the steam generator is fed into the ejector, part of the condensed vapors from the condenser through a thermostatic valve are diverted to replenishment were water into the evaporator, and the other part is fed into the steam generator through a pump. The process of cooling the product is carried out with water cooled in the cold receiver section with the supply of chilled water to the exposure jacket with return to the cold receiver section in the closed cycle mode.

Keywords: vegetable oil, energy saving, steam jet heat pump

Acknowledgements. The article was prepared within the framework of a Grant from the President of the Russian Federation for state support of young Russian scientists, Doctors of Sciences (MD-387.2022.5).

For citation: Vasilenko V.N., Shevtsov A.A., Frolova L.N., Dragan I.V., Kochkin I.Yu., Eremin I.D. Steam jet pump as a source of alternative energy in pulp industry technology. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 2022, vol. 10, no. 2, pp. 34–42. (In Russ.)
DOI: 10.14529/food220204

Введение

На укрепление аграрной экономики оказывает влияние рост экономической эффективности при переработке новых альтернативных масличных культур при выработке функциональных масложировых продуктов, что, в свою очередь, влияет на качество продукции и возможность приносить прибыль

для обновления производственного процесса [12, 14–20].

Одним из резервов экономии топливно-энергетических ресурсов в маслоэкстракционном производстве является совершенствование режимов энергоемкого оборудования [1, 2, 14], а также в реализации основных принципов энергосбережения, направленных

на снижение энергозатрат, за счет организации рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам посредством тепловых насосов [3, 6–7, 21–25].

На основании этого предлагается технология, в которой растительные масла получают с помощью парожекторного теплового насоса. Он необходим, чтобы получить энергоносители разного температурного потенциала, что позволит снизить удельные энергозатраты из-за максимальной рекуперации и утилизации отработанных теплоносителей в замкнутых термодинамических циклах [4, 5, 8–11, 14, 15].

В данной работе представлен парожекторный тепловой насос как источник альтернативной энергии в технологиях пищевой промышленности.

В сравнении с известными теплонасосными технологиями [4, 12–16] его применение открывает реальные перспективы в решении важнейших производственных задач:

– создаются экологически безопасные условия реализации технологии за счет применения воды в качестве хладагента, исключая использование токсичных, взрыво- и пожароопасных рабочих сред, а также за счет организации замкнутых рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам со значительным снижением отвода вторичных энергоресурсов из схемы тепло- и холодо-снабжения;

– в качестве высокопотенциального пара может быть использован водяной пар с давлением 0,05...0,06 МПа, благодаря чему достигается экономия электроэнергии, которая расходуется только на работу органов управления и насосов высокого давления при подаче пара в эжектор;

– в условиях децентрализованных систем теплоснабжения, когда тепловая энергия генерируется непосредственно на объекте производства, создаются реальные условия утилизации пара низкого давления, в частности, бросового тепла газотурбинных установок и котельных агрегатов;

– снижаются удельные энергозатраты на 5–10 % за счет рационального использования вторичных энергоисточников.

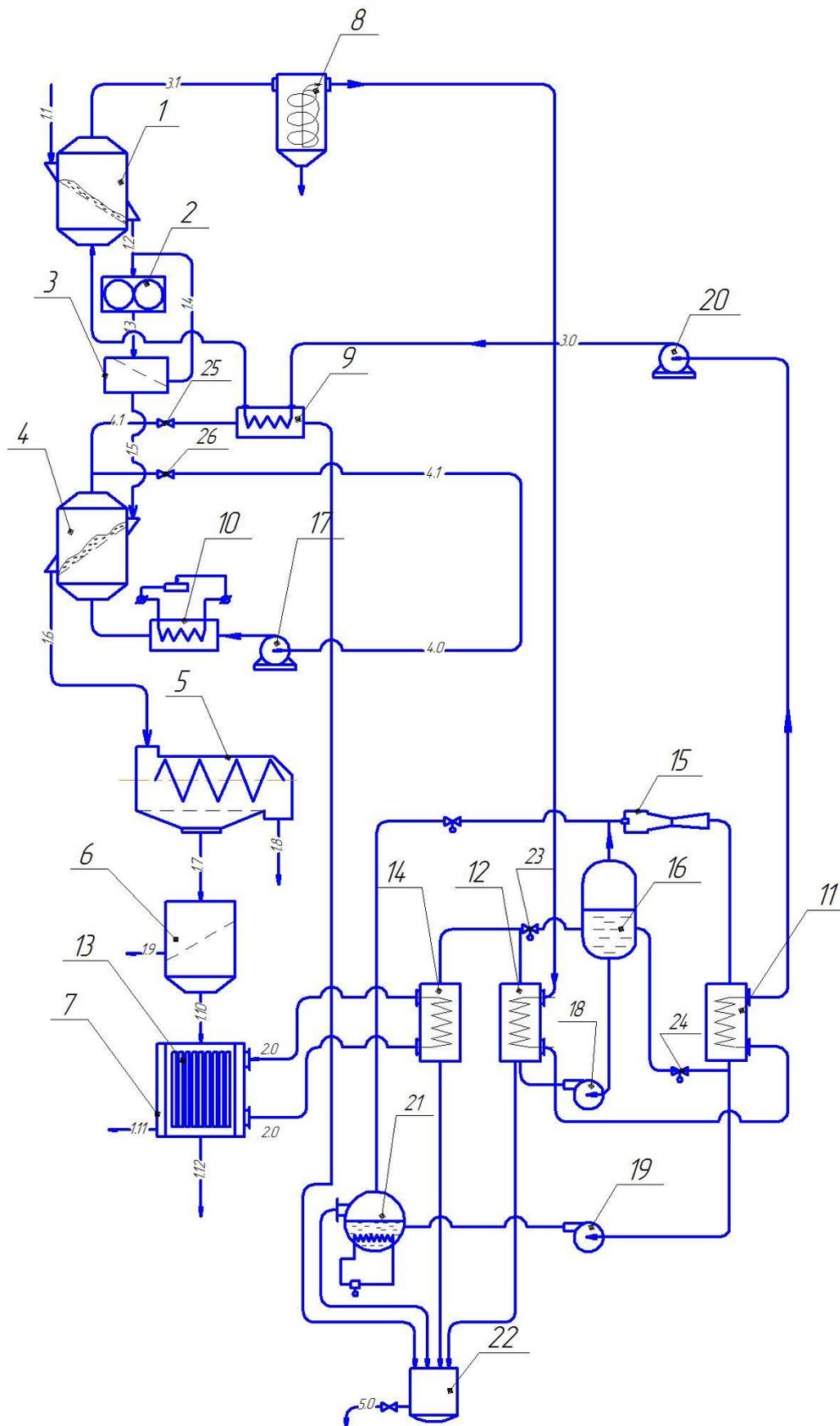
Методы и обсуждения

Предлагаемая теплонасосная технология производства растительных масел осуществ-

ляется следующим образом (см. рисунок) [13].

Исходные масличные культуры с начальной влажностью 17,5 % сначала по линии 1.1 подают в сушилку 1, где снижается влажность до 8 %, и выводят из нее по линии 1.2 на вальцовый станок 2 для измельчения масличных культур до размера 1 мм, после чего по линии 1.3 продукт подают на сепарирующую машину 3, где сход по линии 1.4 направляют на доизмельчение на вальцевый станок 2, а измельченные масличные культуры по линии 1.5 направляют на обжарку до доведения влажности 2 % в обжарочный аппарат 4, образовавшуюся мезгу по линии 1.6 подают на форпресс 5, масло по линии 1.7 из форпресса 5 направляют на фильтрацию в фильтрпресс 6, где по линии 1.8 отводят форпрессовый жмых на экстракцию, по линии 1.9 отводят осадок на дальнейшую обработку, а профильтрованное масло по линии 1.10 из фильтрпресса 6 направляют в экспозитор с рубашкой 7 для вымораживания восковых веществ, которые отводят по линии 1.11, а готовое масло выводят по линии 1.12.

Процесс сушки масличных культур в сушилке 1 осуществляют кондиционированным воздухом, который подогревают в теплообменнике-рекуператоре 9, при этом отработанный воздух после сушки в линии 3.1 подвергают очистке от взвешенных частиц в циклоне 8 с последующим охлаждением и осушением в испарителе 15 парожекторной холодильной машины, включающей двухсекционный холодоприемник, одна секция 13 из которых работает на подготовку холодной воды перед подачей в рубашку экспозитора 7, а вторая секция 12 – для конденсации влаги из отработанного воздуха в виде тумана или капельной жидкости с последующим отводом образовавшегося конденсата в сборнике конденсата 21; перегретый пар после электропароперегревателя 10 теплового насоса подают на обжарку 4, при этом часть отработанного перегретого пара в количестве испаряемой из продукта влаги подают по линии 4.1 в теплообменник-рекуператор 9 для нагрева воздуха, образовавшийся при этом конденсат отводят в сборник конденсата 21, а вторую часть отработанного пара отводят по линии 4.0 в электропароперегреватель 10, где его перегревают и вновь подают на обжарку 4 в режиме замкнутого цикла.



Линия производства растительного масла

Рабочий пар по линии 5.0 из парогенератора 20 подают в эжектор 14, эжектируемые пары по линии 6.1 из испарителя 15 создают в нем разрежение с температурой кипения воды 5...7 °С, которая используется в качестве хладагента; смесь рабочего и эжектируемого по линии 5.1 паров подают в конденсатор 11, где кинетическая энергия потока смеси в эжекторе преобразуется в тепловую энергию; часть конденсируемых паров из конденсатора 11 через терморегулирующий вентиль 26 отводят на пополнение убыли воды по линии 6.0 в испаритель 15, а другую часть посредством насоса 18 подают в парогенератор 20; отработанный сушильный агент с температурой 60...70 °С подвергают очистке в циклоне 8 и подают в одну из секций холодоприемника 12, где он охлаждается до температуры точки «росы» и осушается с последующей подачей сначала в конденсатор 11 парозежекторной машины, где нагревается до температуры 70 °С, а затем в теплообменник-рекуператор 9, в котором его температура доводится до 85...90 °С, с которой подается в сушилку 1 в режиме замкнутого цикла; процесс обжарки осуществляют перегретым паром, в контуре рекуперации которого установлен электропароперегреватель 10; излишнюю часть отработанного перегретого пара в количестве испарившейся влаги из продукта отводят по линии 4.1 из контура рециркуляции в теплообменник-рекуператор 9 для подогрева воздуха, подаваемого на сушку в сушилку 1, образовавшийся конденсат из теплообменника-

рекуператора 9 вместе с образовавшимся конденсатом в виде капельной жидкости в секции холодоприемника 12 при охлаждении отработанного сушильного агента отводят в сборник конденсата 21; процесс охлаждения продукта в экспозиторе с рубашкой 7 осуществляют водой, охлажденной в секции холодоприемника 13 с подачей охлажденной воды по линии 2.0 в рубашку экспозитора 7 с возвратом по линии 2.0 в секцию холодоприемника 13 в режиме замкнутого цикла.

Заключение

Парозежекторный тепловой насос в масложировой промышленности на примере получения растительных масел позволяет обеспечить:

- подготовку высокопотенциального перегретого пара для реализации процесса обжарки и последующим использованием низкопотенциального пара для подготовки сушильного агента в процессе сушки;
- подготовку холодного воздуха в испарителе теплового насоса для интенсивного охлаждения семян масличных культур;
- повысить надежность теплонасосной системы;
- повысить энергетическую эффективность производства растительных масел;
- получать растительное масло, обладающее высоким качеством;
- создать безотходную и экологически чистую технологию получения растительных масел;
- снизить энергозатраты и себестоимость на 5–10 %.

Список литературы

1. Василенко В.Н. и др. Ресурсосберегающее оборудование нового поколения для переработки масличного сырья / В.Н. Василенко, Л.Н. Фролова, Н.А. Михайлова и др. // Вестник машиностроения. 2019. № 04. С. 74–75.
2. Василенко В.Н. и др. Создание энергоэффективного оборудования для переработки масличного сырья / В.Н. Василенко, Л.Н. Фролова, Н.А. Михайлова и др. // Вестник машиностроения. 2017. № 01. С. 87–88.
3. Дранников А.В. и др. Парозежекторный тепловой насос как источник альтернативной энергии в технологии хлебобулочных изделий / А.В. Дранников, А.А. Шевцов, Е.И. Пономарева и др. // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021;83(3):23-29. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-3-23-29
4. Дзино А.А., Малинина О.С. Методики расчетов термодинамических циклов пароконпрессорных тепловых насосов и абсорбционных термотрансформаторов. СПб.: Университет ИТМО, 2018.
5. Закиров Д.Г., Рыбин А.А. Использование низкопотенциальной теплоты. М.: РУСАЙНС, 2017. 158 с. DOI: 10.15216/978-5-4365-0996-9

6. Закиров Д.Г. и др. Разработка и внедрение технологий использования низкопотенциального тепла тепловыми насосами // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. Т. 94, № 1. С. 85–90.
7. Курнакова Н.Ю., Нуждин А.В., Волхонский А.А. О возможности повышения энергоэффективности тепловой схемы ТЭС с применением теплового насоса // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22, № 7. С. 114–122.
8. Мацевитый Ю.М., Чиркин Н.Б., Кузнецов М.А. Термоэкономический анализ теплонасосной системы теплоснабжения // Проблемы машиностроения. 2010. Т. 13, № 1. С. 42–51.
9. Марышев А.Ю. и др. Расчёт переохладителя теплового насоса вакуум-выпарной установки // Передовые достижения науки в молочной отрасли. 2019. С. 67–73.
10. Миронова Н.В. и др. Повышение термодинамической эффективности рабочих циклов парокомпрессионных тепловых насосов / Н.В. Миронова, С.Л. Елистратов, Ю.В., Овчинников В.Г. Томилов // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2018. № 2 (71). С. 143–156.
11. Мотин В.В., Стефанова В.А., Феськов О.А. Теплообменные аппараты в холодильных машинах (конструкция и расчет). М.: Франтера, 2017. 170 с.
12. Остриков А.Н. и др. Технология получения гранул из шрота семян рапса с использованием двухступенчатого каскадного парокомпрессионного теплового насоса / А.Н. Остриков, А.А. Шевцов, Т.Н. Тертычная, Н.А. Сердюкова // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 3. С. 22–30.
13. Патент № 2619278 Российская Федерация, МПК С11В 1/00. Линия производства растительного масла / Л.Н. Фролова, А.А. Шевцов, Л.И. Лыткина, В.Н. Василенко, К.Ю. Русина; заявитель и патентообладатель Воронежский государственный университет инженерных технологий. № 2015147604/13; заявл. 06.11.2015; опубл. 15.05.2017, Бюл. № 14.
14. Сердюкова Н.А. Научное обеспечение комплексной переработки семян рапса с использованием теплонасосных технологий: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12. Воронеж, 2020.
15. Фролова Л.Н. Развитие научно-практических основ ресурсосберегающих процессов комплексной переработки семян масличных культур (теория, техника и технология): дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12. Воронеж, 2016.
16. Шевцов А.А. и др. Эффективное внедрение парокомпрессионного теплового насоса в линию комплексной переработки семян масличных культур / А.А. Шевцов, Е.С. Бунин, В.В. Ткач и др. // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 1. С. 60–64.
17. Шевцов А.А. и др. Энергосберегающая технология выделения белоксодержащих фракций из масличных семян с применением пароэжекторного теплового насоса / А.А. Шевцов, Т.Н. Тертычная, В.В. Ткач, Н.А. Сердюкова // Вестник ВГУИТ. 2019. № 2. С. 35–40. DOI: 10.20914/2310-1202-2019-2-35-40
18. Deng J., Wei Q., Liang M., He S. et al. Does heat pumps perform energy efficiently as we expected: field tests and evaluations on various kinds of heat pump systems for space heating // Energy and Buildings. 2019. V. 182. P. 172–186. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.10.014
19. Sayegh M.A. Jadwyszczaka P., Axcellb B.P., Niemierkaa E. et al. Heat pump placement, connection and operational modes in european district heating // Energy and Buildings. 2018. V. 166. P. 122–144. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.02.006
20. Vivian J., Emmi G., Zarrella A., Jobard X. et al. Evaluating the cost of heat for end users in ultra low temperature district heating networks with booster heat pumps // Energy. 2018. V. 153. P. 788–800. DOI: 10.1016/j.energy.2018.04.081
21. Shevtsov A.A., Tertychnaya T.N., Serdyukova N.A., Tkach V.V. Energy-efficient and environmentally friendly 22 technology for producing fatty acid esters // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. V. 640. No. 4. P. 042008. DOI: 10.1088/1755-1315/640/4/042008
22. Richard P. et. al. Upscaling a district heating system based on biogas cogeneration and heat pumps // Energy, sustainability and society. 2015. No. 5 (16). DOI: 10.1186/s13705-015-0044-x

23. Tuth R., Fischer D., Wille-Haussmann B., Wittwer C. Balancing fluctuating renewable energy generation using cogeneration and heat pump systems // *Energy technology*. 2014. No 2 (1). P. 83–89. DOI: 10.1002/ente.201300082
24. Vivian J., Emmi G., Zarrella A., Jobard X. et al. Evaluating the Cost of Heat for End Users in Ultra Low Temperature District Heating Networks with Booster Heat Pumps // *Energy*. 2018. V. 153. P. 788–800. DOI: 10.1016/j.energy.2018.04.081
25. Sayegh M.A., Jadwiszczak P., Axcell B.P., Niemierka E. Heat Pump Placement, Connection and Operational Modes in European District Heating // *Energy and Buildings*. 2018. V. 166. P. 122–144. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.02.006

References

1. Vasilenko V.N., Frolova L.N., Mikhailova N.A., Dragan I.V., Tarkaeva D.A. Resource-saving equipment of a new generation for the processing of oilseeds. *Bulletin of mechanical engineering*, 2019, no. 04, pp. 74–75. (In Russ.)
2. Vasilenko V.N., Frolova L.N., Mikhailova N.A., Rusina K.Yu., Tarkaeva D.A. Creation of energy-efficient equipment for the processing of oilseed raw materials. *Bulletin of Mechanical Engineering*, 2017, no. 01, pp. 87–88.
3. Drannikov A.V., Shevtsov A.A., Ponomareva E.I., Zasytkin N.V., Logunova L.V. Steam jet pump as a source of alternative energy in bakery technologies. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 2021;83(3):23–29. DOI: 10.20914/2310-1202-2021-3-23-29
4. Dzino A.A., Malinina O.S. *Metodiki raschetov termodinamicheskikh tsiklov parokompressornykh teplovykh nasosov i absorbtionnykh termotransformatorov* [Methods for calculating thermodynamic cycles of steam compressor heat pumps and absorption thermotransformers]. St. Petersburg, 2018.
5. Zakirov D.G., Rybin A.A. *Ispol'zovanie nizkopotentsial'noy teploty* [Use of low-grade heat]. Moscow, 2017. 158 p. DOI: 10.15216/978-5-4365-0996-9
6. Zakirov D.G. et al. Development and implementation of technologies for the use of low-grade heat by heat pumps. *Technologies and technical means of mechanized production of crop and livestock products*, 2018. vol. 94, no. 1, pp. 85–90. (In Russ.)
7. Kurnakova N.Yu., Nuzhdin A.V., Volkhonsky A.A. On the possibility of increasing the energy efficiency of the thermal circuit of a TPP with the use of a heat pump. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*, 2018, vol. 22, no. 7, pp. 114–122. (In Russ.)
8. Matsevyt Yu.M., Chirkin N.B., Kuznetsov M.A. Thermoeconomic analysis of the heat pump system of heat supply. *Problems of mechanical engineering*, 2010, vol. 13, no. 1, pp. 42–51. (In Russ.)
9. Maryshev A.Yu. et al. Calculation of the subcooler of the heat pump of a vacuum-evaporator installation. *Advances in science in the dairy industry*, 2019, pp. 67–73. (In Russ.)
10. Mironova N.V., Elistratov S.L., Ovchinnikov Yu.V., Tomilov V.G. Increasing the thermodynamic efficiency of working cycles of vapor compression heat pumps. *Scientific Bulletin of the Novosibirsk State Technical University*, 2018, no. 2 (71), pp. 143–156. (In Russ.)
11. Motin V.V., Stefanova V.A., Feskov O.A. *Teploobmennye apparaty v kholodil'nykh mashinakh (konstruktsiya i raschet)* [Heat exchangers in refrigeration machines (design and calculation)]. Moscow, 2017. 170 p.
12. Ostrikov A.N., Shevtsov A.A., Tertychnaya T.N., Serdyukova N.A. Technology of obtaining granules from rapeseed meal using a two-stage cascade vapor compression heat pump. *Storage and processing of agricultural raw materials*, 2021, no. 3, pp. 22–30. (In Russ.)
13. Frolova L.N., Shevtsov A.A., Lytkina L.I., Vasilenko V.N., Rusina K.Yu. *Patent № 2619278 Rossiyskaya Federatsiya, MPK C11B 1/00. Liniya proizvodstva rastitel'nogo masla* [Patent No. 2619278 Russian Federation, IPC C11B 1/00. Vegetable oil production line]. Applicant and patent holder Voronezh State University of Engineering Technologies. No. 2015147604/13; dec. 11/06/2015; publ. May 15, 2017, Bull. No. 14.

14. Serdyukova N.A. *Nauchnoe obespechenie kompleksnoy pererabotki semyan rapsa s ispol'zovaniem teplonasosnykh tekhnologii: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Scientific support for the complex processing of rape seeds using heat pump technologies: dissertation... PhD]. Voronezh, 2020.

15. Frolova L.N. *Razvitie nauchno-prakticheskikh osnov resursosberegayushchikh protsessov kompleksnoy pererabotki semyan maslichnykh kul'tur (teoriya, tekhnika i tekhnologiya): dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Development of the scientific and practical foundations of resource-saving processes for the complex processing of oilseeds (theory, technique and technology): dissertation... Doctor of Technical Sciences]. Voronezh, 2016.

16. Shevtsov A.A., Bunin E.S., Tkach V.V., Serdyukova N.A. Efficient introduction of a vapor-compression heat pump into the line of complex processing of oilseeds. *Storage and processing of agricultural raw materials*, 2018, no. 1, pp. 60–64. (In Russ.)

17. Shevtsov A.A., Tertychnaya T.N., Tkach V.V., Serdyukova N.A. Energy-saving technology for the extraction of protein-containing fractions from oilseeds using a steam jet heat pump. *Vestnik VGUIT*. 2019. No 2. P. 35–40. (In Russ.) DOI: 10.20914/2310-1202-2019-2-35-40

18. Deng J., Wei Q., Liang M., He S. et al. Does heat pumps perform energy efficiently as we expected: field tests and evaluations on various kinds of heat pump systems for space heating. *Energy and Buildings*, 2019, vol. 182, pp. 172–186. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.10.014

19. Sayegh M.A., Jadwiszczaka P., Axcellb B.P., Niemierkaa E. et al. Heat pump placement, connection and operational modes in european district heating. *Energy and Buildings*, 2018, vol. 166, pp. 122–144. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.02.006

20. Vivian J., Emmi G., Zarrella A., Jobard X. et al. Evaluating the cost of heat for end users in ultra low temperature district heating networks with booster heat pumps. *Energy*, 2018, vol. 153, pp. 788–800. DOI: 10.1016/j.energy.2018.04.081

21. Shevtsov A.A., Tertychnaya T.N., Serdyukova N.A., Tkach V.V. Energy-efficient and environmentally friendly 22technology for producing fatty acid esters. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021, vol. 640, no. 4, pp. 042008. DOI: 10.1088/1755-1315/640/4/042008

22. Richard P. et al. Upscaling a district heating system based on biogas cogeneration and heat pumps. *Energy, sustainability and society*, 2015, no. 5 (16). DOI: 10.1186/s13705-015-0044-x

23. Tuth R., Fischer D., Wille-Haussmann B., Wittwer C. Balancing fluctuating renewable energy generation using cogeneration and heat pump systems. *Energy technology*, 2014, no. 2 (1), pp. 83–89. DOI: 10.1002/ente.201300082

24. Vivian J., Emmi G., Zarrella A., Jobard X. et al. Evaluating the Cost of Heat for End Users in Ultra Low Temperature District Heating Networks with Booster Heat Pumps. *Energy*, 2018, vol. 153, pp. 788–800. DOI: 10.1016/j.energy.2018.04.081

25. Sayegh M.A., Jadwiszczak P., Axcell B.P., Niemierka E. Heat Pump Placement, Connection and Operational Modes in European District Heating. *Energy and Buildings*, 2018, vol. 166, pp. 122–144. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.02.006

Информация об авторах

Василенко Виталий Николаевич, д.т.н., проректор по УР, ректорат, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия, vvv_1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

Шевцов Александр Анатольевич, д.т.н., профессор, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», Воронеж, Россия, shevalol@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5745-8301>

Фролова Лариса Николаевна, д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия, fln-84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

Драган Иван Вадимович, к.т.н., доцент, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.

Кочкин Илья Юрьевич, аспирант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.

Еремин Илья Денисович, студент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Россия.

Information about the authors

Vitalii N. Vasilenko, Dr. Sci. (Engin.), prorektor, rektorat, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia, vvn_1977@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1547-9814>

Alexander A. Shevtsov, Dr. Sci. (Engin.), Professor, Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy, Voronezh, Russia, shevalol@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5745-8301>

Larisa N. Frolova, Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and devices of chemical and food productions department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia, fln-84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6505-4136>

Ivan V. Dragan, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Technology of Fats, Processes and Apparatuses of Chemical and Food Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia.

Илья Ю. Кочкин, Post-graduate student, Department of Machines and Apparatus for Food Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia.

Илья Д. Еремин, Student, Department of Machines and Apparatuses for Food Production, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russia.

Статья поступила в редакцию 11.03.2022

The article was submitted 11.03.2022