

## Пароэжекторный тепловой насос как источник альтернативной энергии в технологии хлебобулочных изделий

Алексей В. Дранников	<sup>1</sup> drannikov@list.ru	 0000-0002-3060-8688
Александр А. Шевцов	<sup>1</sup> shevalol@rambler.ru	 0000-0001-5745-8301
Елена И. Пономарева	<sup>1</sup> elena6815@yandex	 0000-0003-2310-2838
Никита В. Засыпкин	<sup>1</sup> zvnkita24@gmail.com	
Людмила В. Логунова	<sup>1</sup> logunova.lyudmila@mail.ru	 0000-0002-5255-7551

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Поиск новых альтернативных источников энергии и путей сбережения топливно-энергетических ресурсов, эффективного использования вторичных энергоресурсов, включая природные низкотемпературные источники теплоты остаются в центре внимания специалистов хлебопекарной промышленности. Все большее значение в снижении энергозатрат приобретают тепловые насосы. Проанализированы причины, сдерживающие широкое применение парокомпрессионных тепловых насосов. Для реализации рациональных термовлажностных режимов в технологии хлебобулочных изделий предложено использовать пароэжекторный тепловой насос, который расширяет границы энергоэффективного сопряжения объектов различных температурных потенциалов на основе утилизации и рекуперации вторичных энергоресурсов. При этом в полной мере реализован универсальный подход в создании конкурентоспособной технологии, обеспечивающей выработку тепла и холода для совместно протекающих процессов в производстве хлебобулочных изделий. Пароэжекторный тепловой насос создает реальные условия утилизации пара низкого давления, в частности, бросового тепла газотурбинных установок и котельных агрегатов и, как следствие, позволяет эффективно решать задачи энергосбережения. Экологически безопасные условия функционирования технологии обусловлены применением воды в качестве хладагента. Полностью исключается использование токсичных, взрыво- и пожароопасных рабочих сред, что позволяет рассматривать предлагаемую теплонасосную технологию хлебобулочных изделий как экологически безопасную.

**Ключевые слова:** хлебобулочные изделия, тепловой насос, энергосбережение, экологическая безопасность, источник энергии

## Steam jet heat pump as a source of alternative energy in bakery technology

Alexey V. Drannikov	<sup>1</sup> drannikov@list.ru	 0000-0002-3060-8688
Alexander A. Shevtsov	<sup>1</sup> shevalol@rambler.ru	 0000-0001-5745-8301
Elena I. Ponomareva	<sup>1</sup> elena6815@yandex	 0000-0003-2310-2838
Nikita V. Zasyepkin	<sup>1</sup> zvnkita24@gmail.com	
Lyudmila V. Logunova	<sup>1</sup> logunova.lyudmila@mail.ru	 0000-0002-5255-7551

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** The search for new alternative energy sources and ways of saving fuel and energy resources, efficient use of secondary energy resources, including natural low-temperature sources of heat, remain in the center of attention of specialists in the bakery industry. Heat pumps are becoming increasingly important in reducing energy costs. The reasons that restrain the widespread use of vapor compression heat pumps are analyzed. To implement rational thermal and humidity modes in the technology of bakery products, it is proposed to use a steam jet heat pump, which expands the boundaries of energy-efficient coupling of objects of different temperature potentials on the basis of utilization and recuperation of secondary energy resources. At the same time, a universal approach has been fully implemented in creating a competitive technology that provides heat and cold production for joint processes in the production of bakery products. In the conditions of decentralized heat supply systems, when heat energy is generated directly at the enterprise, 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, makes it possible to effectively solve energy saving problems. Environmentally safe conditions of the technology functioning are due to the use of water as a refrigerant. The use of toxic, explosive and fire hazardous working environments is completely excluded, which allows us to consider the proposed heat pump technology of bakery products as environmentally friendly.

**Keywords:** bakery products, heat pump, energy saving, environmental safety, energy source

### Введение

Эффективное замещение в системах энергоснабжения ископаемых видов топлива на теплоту возобновляемых и вторичных источников посредством тепловых насосов (ТН) является одним из важнейших принципов энергосбережения и охраны окружающей среды и составляет основу современных исследований в области теплонасосных технологий [1, 3, 4, 6–10].

Для цитирования

Дранников А.В., Шевцов А.А., Пономарева Е.И., Засыпкин Н.В., Логунова Л.В. Пароэжекторный тепловой насос как источник альтернативной энергии в технологии хлебобулочных изделий // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 3. С. 23–29. doi:10.20914/2310-1202-2021-3-23-29

Современные тенденции в развитии теории тепловых и теплообменных процессов подготовили условия для научного подхода к созданию новых энергосберегающих и экологически безопасных пищевых технологий с использованием ТН [2, 5, 10–12].

Традиционные технологии хлебобулочных изделий [13–18] имеют существенные резервы в реализации основных принципов

For citation

Drannikov A.V., Shevtsov A.A., Ponomareva E.I., Zasyepkin N.V., Logunova L.V. Steam jet heat pump as a source of alternative energy in bakery technology. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 3. pp. 23–29. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-3-23-29

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

энергосбережения, направленных на снижение энергозатрат, за счет организации рециркуляционных схем по материальным и энергетическим потокам посредством ТН.

Наиболее перспективной в этом отношении является технология хлебобулочных изделий с использованием парокompрессионного теплового насоса [19]. Несмотря на очевидное преимущество концептуального подхода в создании данной технологии ее реализация сдерживается по следующей причине. Парокompрессионный тепловой насос целесообразно использовать в условиях децентрализованной системы энергоснабжения, когда отсутствуют источники получения высокопотенциальной тепловой энергии (котельные агрегаты, газотурбинные установки и др.). Традиционная ориентация в нашей стране на централизованное теплоснабжение ставит под сомнение использование парокompрессионных тепловых насосов в технологии хлебобулочных изделий, по крайней мере, в ближайшее время, в том числе с учетом их высокой стоимости.

В этой связи сформулирована цель работы: разработка теплонасосной технологии хлебобулочных изделий с применением парожекторного теплового насоса для получения энергоносителей разного температурного потенциала, обеспечивающего снижение удельных энергозатрат за счет максимальной рекуперации и утилизации отработанных теплоносителей в замкнутых термодинамических циклах.

### Методы

Разработке энергоэффективной теплонасосной технологии хлебобулочных изделий предшествовали системные исследования, направленные на изучение принципиальных вопросов энергосбережения в тепловых и теплообменных процессах пищевой и химической технологии с применением парожекторного теплового насоса [20–23].

Предлагаемая теплонасосная технология хлебобулочных изделий включает циклоны-разгрузители 1; машины тестомесильные 2, 7; дозировочные станции 3, 8; лопастной нагнетатель 4; бункер для брожения закваски 5; дозатор закваски 6; емкость для брожения теста 9; тестоделитель 10; ленточный округлитель 11; расстойный шкаф 12; термомасляную поточную туннельную печь 13 с секционной обогревающей рубашкой; кулер для конвективного охлаждения хлебобулочных изделий 14; конденсатор-рекуператор 15; аппарат 16 с греющей рубашкой для разделения собранного конденсата методом отгонки на воду и другие компоненты, в том числе спирт; сборник спирта и других компонентов 17; парожекторный тепловой насос,

состоящий из эжектора 18, конденсатора 19, терморегулирующего вентиля 20, испарителя 21; холодоприемника 22, рециркуляционного насоса 23; парогенератор 24 с электронагревательными элементами 25 и клапаном сброса давления 26; сборник конденсата 27; распределители потоков 28, 29, 30, 31; высокотемпературный циркуляционный масляный насос 32; насосы 33, 34; вентиляторы 35, 36, 37; линии подачи и отвода материальных и тепловых потоков: 1.1 – муки; 1.2 – закваски; 1.3 – выброженной закваски; 1.4 – замешанной закваски; 1.51 – горячей воды; 1.52 – холодной воды 2.0 – подачи воздуха из окружающей среды в расстойный шкаф 10; 2.1 – отвода парообразующей смеси в процессе выпечки из термомасляной печи 13 в конденсатор-рекуператор 15; 2.2 – отвода образовавшегося конденсата из конденсатора-рекуператора 12 в аппарат 16; 2.3 – отвода других компонентов и спирта в сборник 17; 1.5 – линии подачи и отвода воды; 1.6 – эжектируемого низкопотенциального пара из испарителя 21 в эжектор 18; 3.0 – подачи высокопотенциального пара из парогенератора 20 в эжектор 18 и в греющую рубашку аппарата 16; 3.1 – подачи рабочего пара в конденсатор парожекторного теплового насоса 19; 3.2 – впрыска пара на увлажнение воздуха, подаваемого в расстойный шкаф 12 и на увлажнение паровоздушной смеси, подаваемой в кулер 14; 3.1 – отвода отработанной паровоздушной смеси из расстойного шкафа 9 и кулера 11 в холодоприемник 22; 3.2 – подачи охлажденной (кондиционированной) и осушенной паровоздушной смеси из холодоприемника 22 в кулер 14; 3.3 – подачи паровоздушной смеси в кулер 11; 4.0 – рециркуляции хладагента (воды) через холодоприемник 22 парожекторного теплового насоса; 5.0 – рециркуляции термомасла через секционную обогревающую рубашку термомасляной поточной туннельной печи 13 и конденсатора парожекторного теплового насоса 19.

Технология предусматривает непрерывное приготовление густой закваски и теста, брожение полуфабрикатов, деление теста на куски, их округление, расстойку тестовых заготовок в расстойном шкафу, в который подается паровоздушная смесь из воздуха, забираемого из окружающей среды, и насыщенного пара при температуре 38–40°C и относительной влажности 80–85 % и выпечку хлебобулочных изделий в печи проходного типа [19].

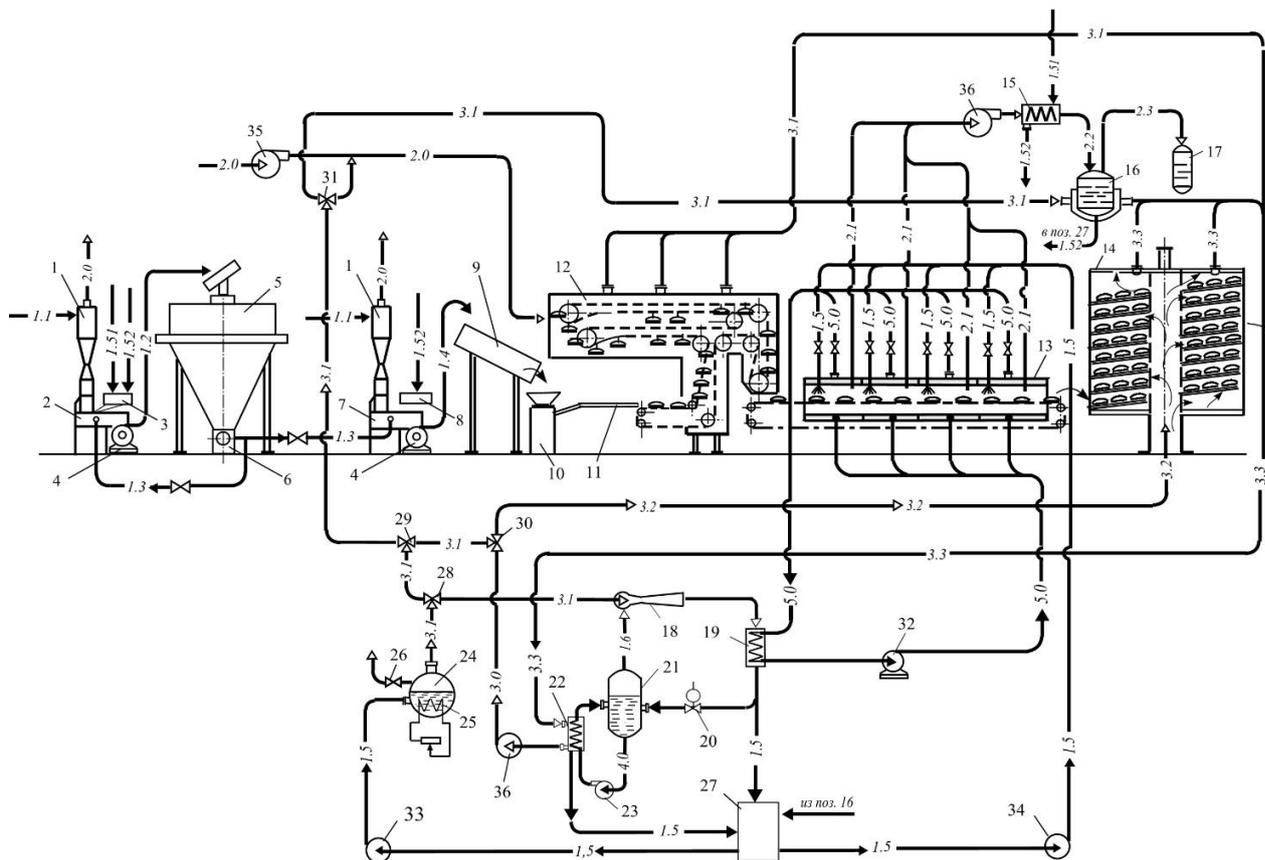


Рисунок 1. Теплонасосная технология хлебобулочных изделий

Figure 1. Heat pump technology for bakery products

Выпечка проводится переменным четырехстадийным тепловым излучением при температуре: на первой стадии предварительного нагрева 100–120°C, на второй стадии нарастающего теплообмена 180–190°C, на третьей стадии интенсивного теплообмена 230–240°C и на четвертой стадии снижающейся интенсивности теплообмена 150–180°C. Охлаждение хлебобулочных изделий до температуры 20°C осуществляется смесью охлажденного воздуха и насыщенного пара с температурой 15–18°C и относительной влажности 85–90 %. Хлебобулочные изделия охлаждаются в кулере конвективного охлаждения паровоздушной смесью, парообразующая смесь в процессе выпечки конденсируется, собранный конденсат разделяется методом отгонки на воду и другие компоненты, в том числе спирт.

Подготовка энергоносителей для реализации рациональных термовлажностных режимов расстойки, выпечки и охлаждения хлебобулочных изделий осуществляется с помощью парожекторного теплового насоса, включающего парогенератор для получения насыщенного пара, паро-паровой эжектор, конденсатор, терморегулирующий вентиль, холодоприемник, работающие по замкнутому термодинамическому циклу.

Полученный в парогенераторе 24 высокопотенциальный пар под давлением 2,0–2,5 МПа подается в сопло паро-парового эжектора 32, эжектируя при этом низкопотенциальный пар, создавая пониженное давление 0,0009–0,001 МПа и температуру 4–7 °C в испарителе 21. В качестве хладагента используется вода, которая циркулирует через холодоприемник 22 с помощью насоса 23.

Кинетическая энергия смеси высокопотенциального и низкопотенциального паров в диффузоре эжектора 18 преобразуется в тепловую энергию рабочего пара, выходящего из эжектора с давлением 9 МПа и температурой 300 °C. Поток рабочего пара подается в конденсатор 19, в котором посредством рекуперативного теплообмена нагревается термомасло. Часть образовавшегося конденсата отводится через терморегулирующий вентиль 20 на пополнение уровня воды в испарителе 21, а другую часть конденсата вместе с конденсатом образовавшимся при конденсации отработанной паровоздушной смеси в холодоприемнике 22 направляется в сборник конденсата 27 с образованием замкнутого цикла.

При увеличении давления пара в парогенераторе 24 больше допустимого срабатывает предохранительный клапан 26, осуществляющий сброс давления.

Нагретое в конденсаторе 19 термомасло с помощью высокотемпературного циркуляционного масляного насоса 32 направляется в секции обогревающей рубашки термомасляной поточной туннельной печи 13. Потoki отработанного термомасла после секций печи объединяются и подаются в конденсатор 19 с образованием контура рециркуляции.

Полученный высокопотенциальный пар из парогенератора 24 отводится на увлажнение воздуха, в расстойный шкаф 12 и в греющую рубашку аппарата 16 для разделения собранного конденсата методом отгонки на воду и другие компоненты, в том числе спирт; и на увлажнение паровоздушной смеси, подаваемой в кулер конвективного охлаждения хлебобулочных изделий 14 нагнетающим вентилятором 36.

Парообразующая смесь в процессе выпечки отводится из рабочего объема термомасляной поточной туннельной печи 13 с помощью вытяжного вентилятора 37 в конденсатор-рекуператор 15 с отводом конденсата в аппарат 16 для разделения собранного конденсата. При этом образовавшаяся вода из аппарата 16 отводится в сборник конденсата 27.

Потоки отработанной паровоздушной смеси после расстойного шкафа 12 и аппарата 16, а также после кулера 14 для конвективного охлаждения хлебобулочных изделий объединяются и в режиме замкнутого цикла направляются на охлаждение и осушение в холодоприемник 22, где паровоздушная смесь достигает температуры «точки росы» за счет рекуперативного теплообмена с хладагентом, а содержащаяся в ней влага конденсируется в виде капельной жидкости и отводится в сборник конденсата 27. После холодоприемника 22 осушенная и охлажденная паровоздушная смесь нагнетающим вентилятором 33 подается в кулер 11 на охлаждение хлебобулочных изделий с предварительным увлажнением паром.

Собранный конденсат из сборника конденсата 27 насосом 34 направляется на пароувлажнение хлебобулочных изделий в каждую секцию термомасляной поточной туннельной печи 13, а насосом 33 подается в парогенератор 24 для пополнения убыли воды с образованием контура рециркуляции.

### Результаты и обсуждение

Энергоэффективные режимы технологических процессов в области допустимых свойств получаемой продукции осуществляются с помощью парозжекторного теплового насоса (ПЭТН) со следующими параметрами:

Холодопроизводительность, кВт	20
Температура кипения:	
в испарителе, °С	5
в парогенераторе, °С	110
Температура рабочего пара, °С	300
Коэффициент эжекции	6
Площадь теплообменной поверхности холодоприемника, м <sup>2</sup>	8
Коэффициент теплопередачи холодоприемника, Вт/м <sup>2</sup> ·°С	92
Хладагент	вода

Конструкция ПЭТН содержит движущихся быстроизнашивающихся элементов, благодаря чему обеспечивается безотказная работа насоса длительными циклами без непосредственного обслуживания, при этом минимизируются объемы текущего ремонта, стоимость и потребность в запасных частях и вспомогательных материалах.

Высокопотенциальный пар производится электрическим парогенератором «Ural-Power», способного вырабатывать насыщенный и перегретый пар до 400 °С давлением до 14 МПа.

В контуре рециркуляции ПЭТН используется паро-паровой эжектор (термокомпрессор) типа ПКС, обеспечивающий возврат в систему рабочего пара и его многократное использования с требуемыми параметрами. Масштабы энерго- и ресурсосбережения при использовании ПКС значительны, так как позволяют полностью вернуть в систему избыточный пар, обычно сбрасываемый в атмосферу, и избежать потерь, связанных с дросселированием и регулированием паровых потоков. Использование ПКС снижает до минимума технологические выбросы в атмосферу и позволяет полностью избежать экологического загрязнения окружающей среды от сброса отработанных теплоносителей [19].

Рациональное использование тепловой и электрической энергии в системе холодо- и теплоснабжения с применением парозжекторного теплового насоса рассматривалось с точки зрения снижения себестоимости получаемых целевых и промежуточных продуктов. Основным принципиальным решением по снижению энергозатрат в предлагаемой технологии является оптимальный выбор текущих значений температур рабочего пара и холодной воды. Отклонение от этих значений неизбежно приведет к увеличению потребляемой энергии: понижение температуры кипения хладагента в испарителе на 1 °С приведет к необходимости увеличения расхода рабочего пара в эжектор, а следовательно к перерасходу энергии на 5–7 %, а повышение температуры конденсации на 1 °С приведет к увеличению расхода энергии на 7,0–10,0 % [24, 25].

### Заключение

Предлагаемая теплонасосная технология расширяет границы энергоэффективного сопряжения объектов различных температурных потенциалов на основе утилизации и рекуперации вторичных энергоресурсов. При этом в полной мере реализован универсальный подход в создании конкурентоспособной технологии, обеспечивающей выработку тепла и холода для совместно протекающих процессов в производстве хлебобулочных изделий.

Таким образом, предлагаемая теплонасосная технология имеет следующие преимущества по сравнению с традиционными;

- повышает надежность функционирования технологической системы благодаря использованию парожетторного теплового насоса;
- создает экологически безопасные условия реализации способа 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 холодоснабжения;

- в отсутствии парогенератора 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;
- при отсутствии источников вторичного тепла в условиях децентрализованных систем теплоснабжения, когда тепловая энергия генерируется непосредственно на объекте производства хлебобулочных изделий применение ПЭТН создает реальные условия утилизации пара низкого давления, в частности, бросового тепла газотурбинных установок и котельных агрегатов и, как следствие, позволяет эффективно решать задачи энергосбережения;
- позволяет снизить удельные энергозатраты на 5–10 % за счет рационального использования вторичных энергоисточников.

### Литература

- 1 Закиров Д.Г., Рыбин А.А. Использование низкопотенциальной теплоты. М.: РУСАЙНС, 2017. 158 с. doi: 10.15216/978-5-4365-0996-9
- 2 Миронова Н.В., Елистратов С.Л., Овчинников Ю.В., Томилов В.Г. Повышение термодинамической эффективности рабочих циклов парокompрессионных тепловых насосов // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета. 2018. № 2 (71). С. 143–156.
- 3 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.
- 4 Richard P. et. al. Upscaling a district heating system based on biogas cogeneration and heat pumps // Energy, sustainability and society. 2015. № 5 (16). doi: 10.1186/s13705-015-0044-x
- 5 Tuth R., Fischer D., Wille-Haussmann B., Wittwer C. Balancing fluctuating renewable energy generation using cogeneration and heat pump systems // Energy technology. 2014. № 2 (1). P. 83–89. doi: 10.1002/ente.201300082
- 6 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
- 7 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
- 8 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.
- 9 Мацевитый Ю.М., Чиркин Н.Б., Кузнецов М.А. Термoeкономический анализ теплонасосной системы теплоснабжения // Проблемы машиностроения. 2010. Т. 13. № 1. С. 42–51.
- 10 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
- 11 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. V. 166. P. 122–144. doi: 10.1016/j.enbuild.2018.02.006
- 12 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
- 13 Романов А.С., Ильина О.А., Иунихина В.С., Краус С.В. Хлеб и хлебобулочные изделия. Сырье, технологии, ассортимент. М.: ДеЛи плюс, 2016. 539 с.
- 14 Пономарева Е.И., Лукина С.И., Алёхина Н.Н., Малютина Т.Н. и др. Практикум по технологии отрасли (технология хлебобулочных изделий). СПб.: Издательство «Лань», 2021. 316 с.
- 15 Чижикова О.Г., Корщенко Л.О. Технология производства хлеба и хлебобулочных изделий. Москва: Издательство Юрайт, 2021. 448 с.
- 16 Корщенко Л.О., Чижикова О.Г. Технология производства хлеба и хлебобулочных изделий. Москва: Издательство Юрайт, 2019. 178 с.
- 17 Гаранина В.В. Основные тенденции развития хлебопекарной отрасли в современных условиях // Молодой ученый. 2018. № 50 (236). С. 122–123. URL: <https://moluch.ru/archive/236/54848/>

18 Дзино А.А., Малинина О.С. Методики расчетов термодинамических циклов парокomppressorных тепловых насосов и абсорбционных термотрансформаторов. Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2018.

19 Пат. № 2613283, RU, A21D 8/00. Способ производства хлебобулочных изделий / Чертов Е.Д., Чешинский В.Л., Магомедов Г.О., Шевцов А.А., Пономарева Е.И., Одинцова А.В. Заявитель и патентообладатель Воронеж. гос. универ. инженерных технол. № 2016106015; Заявл. 22.02.2016; Опубл. 15.03.2017, Бюл. № 8.

20 Остриков А.Н., Шевцов А.А., Тertychnaya Т.Н., Сердюкова Н.А. Технология получения гранул из шрота семян рапса с использованием двухступенчатого каскадного парокomppressorного теплового насоса // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. № 3. С. 22–30.

21 Шевцов А.А., Бунин Е.С., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. и др. Эффективное внедрение парокomppressorного теплового насоса в линию комплексной переработки семян масличных культур // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 1. С. 60–64.

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

23 Шевцов А.А., Тertychnaya Т.Н., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. Энергосберегающая технология выделения белоксодержащих фракций из масличных семян с применением парожеторного теплового насоса // Вестник ВГУИТ. 2019. № 2. С. 35–40. doi: 10.20914/2310-1202-2019-2-35-40

24 Марышев А.Ю. и др. Расчет переохладителя теплового насоса вакуум-выпарной установки // Передовые достижения науки в молочной отрасли. 2019. С. 67-73.

25 Мотин В.В., Стефанова В.А., Феськов О.А. Теплообменные аппараты в холодильных машинах (конструкция и расчет). М.: Франтера, 2017. 170 с.

### References

1 Zakirov D.G., Rybin A.A. Use of low-grade heat. Moscow, RUSAYNS, 2017. 158 p. doi: 10.15216/978-5-4365-0996-9 (in Russian).

2 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 Russian).

3 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 Russian).

4 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

5 Tuth R., Fischer D., Wille-Hausmann 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

6 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

7 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

8 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 Russian).

9 Matsevity 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 Russian).

10 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

11 Sayegh M.A. Jadwiszczaka P., Axcell B.P., Niemierka 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

12 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

13 Romanov A.S., Ilyina O.A., Iunikhina V.S., Kraus S.V. Bread and bakery products. Raw materials, technologies, assortment. Moscow, DeLi plus, 2016. 539 p. (in Russian).

14 Ponomareva E.I., Lukina S.I., Alekhina N.N., Malyutina T.N. and others. Workshop on industry technology (technology of bakery products). SPb., Publishing house "Lan", 2021. 316 p. (in Russian).

15 Chizhikova O. G., Korshenko L. O. Bread and bakery production technology. Moscow, Yurayt Publishing House, 2021. 448 p. (in Russian).

16 Korshenko L.O., Chizhikova O.G. Bread and bakery production technology. Moscow, Yurayt Publishing House, 2019. 178 p. (in Russian).

17 Garanina V.V. The main trends in the development of the baking industry in modern conditions. Young scientist. 2018. no. 50 (236). pp. 122-123. Available at: <https://moluch.ru/archive/236/54848/> (in Russian).

18 Dзино А.А., Малинина О.С. Методы для расчета термодинамических циклов парокomppressorных тепловых насосов и абсорбционных термотрансформаторов. Санкт-Петербург, ИТМО Университет. 2018. (in Russian).

19 Chertov E.D., Cheshinsky V.L., Magomedov G.O., Shevtsov A.A. et al. Method for the production of bakery products Patent RF, no. 2613283, 2017.

20 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 Russian).

21 Shevtsov A.A., Bunin E.S., Tkach V.V., Serdyukova N.A. et al. Effective introduction of a vapor compression heat pump in the line of complex processing of oilseeds. Storage and processing of agricultural raw materials. 2018. no. 1. pp. 60–64. (in Russian).

22 Shevtsov A.A., Tertychnaya T.N., Serdyukova N.A., Tkach V.V. Energy-efficient and environmentally friendly technology 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 (in Russian).

23 Shevtsov A.A., Tertychnaya T.N., Tkach V.V., Serdyukova N.A. Energy-saving technology for the extraction of protein-containing fractions from oil seeds using a steam jet heat pump. Proceedings of VSUET. 2019. no. 2. pp. 35–40. doi: 10.20914/2310-1202-2019-2-35-40 (in Russian).

24 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 Russian).

25 Motin V.V., Stefanova V.A., Feskov O.A. Heat exchangers in refrigeration machines (design and calculation). Moscow, Frantera, 2017. 170 p. (in Russian).

#### Сведения об авторах

**Алексей В. Дранников** д.т.н., декан факультета пищевых машин и автоматов, профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, drannikov@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3060-8688>

**Александр А. Шевцов** д.т.н., профессор, кафедра технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, shevalol@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5745-8301>

**Елена И. Пономарева** д.т.н., профессор, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, elena6815@yandex

<https://orcid.org/0000-0003-2310-2838>

**Никита В. Засыпкин** аспирант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, zvnkita24@gmail.com

**Людмила В. Логунова** к.т.н., ассистент, кафедра технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, logunova.lyudmila@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5255-7551>

#### Вклад авторов

**Алексей В. Дранников** консультация в ходе исследования  
**Александр А. Шевцов** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

**Елена И. Пономарева** консультация в ходе исследования

**Никита В. Засыпкин** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Людмила В. Логунова** консультация в ходе исследования

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Information about authors

**Alexey V. Drannikov** Dr. Sci. (Engin.), dean of the faculty of food machines and automata, professor, machines and apparatuses of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, drannikov@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3060-8688>

**Alexander A. Shevtsov** Dr. Sci. (Engin.), professor, technology of fats, processes and apparatuses of chemical and food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, shevalol@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5745-8301>

**Elena I. Ponomareva** Dr. Sci. (Engin.), professor, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, elena6815@yandex

<https://orcid.org/0000-0003-2310-2838>

**Nikita V. Zasyepkin** postgraduate student, machines and devices of food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, zvnkita24@gmail.com

**Lyudmila V. Logunova** Cand. Sci. (Engin.), assistant, bakery technology, confectionery, pasta and grain processing industries department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, logunova.lyudmila@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5255-7551>

#### Contribution

**Alexey V. Drannikov** consultation during the study

**Alexander A. Shevtsov** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

**Elena I. Ponomareva** consultation during the study

**Nikita V. Zasyepkin** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Lyudmila V. Logunova** consultation during the study

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 21/07/2021	После редакции 11/08/2021	Принята в печать 02/09/2021
Received 21/07/2021	Accepted in revised 11/08/2021	Accepted 02/09/2021