

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 637.131:631.171

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-2-34-40

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРВИЧНОЙ ОБРАБОТКИ МОЛОКА НА ФЕРМАХ

**КОРШУНОВ АЛЕКСЕЙ БОРИСОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник

koral314@yandex.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

**Аннотация.** Технологические процессы первичной обработки и хранения продукции животноводства требуют больших объемов низкопотенциальной тепловой энергии. Одним из эффективных способов сохранения высокого качества молока, снижения энергозатрат технологического процесса первичной обработки и хранения животноводческой продукции является применение альтернативных источников энергии. Проведен анализ систем для первичной обработки и хранения молока на основе использования природного холода, вакуума и термоэлектрических модулей. Показаны преимущества таких систем по сравнению с традиционными. Дана классификация оборудования с использованием природного холода. Отмечено, что при использовании природного холода затраты электроэнергии на охлаждение молока сокращаются до 10...12 кВт·ч/т, а за счет комбинированной вакуумно-испарительной установки – до 15...18 кВт·ч/т. Представлена технологическая схема термоэлектрической установки для охлаждения и пастеризации молока и рекуперативного подогрева промывочной воды на фермах с доильными роботами. Проведен анализ и даны предложения по применению альтернативных источников энергии для предварительного охлаждения молока на фермах с доильными роботами. Установлено, что использование альтернативных источников энергии обеспечивает создание экологически безопасных, энергосберегающих и надежных систем первичной обработки и хранения животноводческой продукции в местах ее производства, способствует значительному сокращению потерь и сохранению высокого качества. Исследования показывают эффективность использования комбинированных систем охлаждения и хранения животноводческой продукции с использованием природного холода в сочетании с термоэлектрическим, вакуумным и грунтовым охлаждением.

**Ключевые слова:** первичная обработка молока, энергосбережение, альтернативные источники энергии, эффект Пельтье, природный холод, доильный робот.

**Формат цитирования:** Коршунов А.Б. Повышение эффективности первичной обработки молока на фермах // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 2. С. 34-40. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-34-40>.

© Коршунов А.Б., 2022



## ORIGINAL PAPER

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF PRIMARY MILK PROCESSING ON FARMS

**ALEKSEI B. KORSHUNOV**, PhD (Eng.), Associate Professor, Lead Research Engineer

koral314@yandex.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, 5, 1<sup>st</sup> Institutsky Proezd Str., Moscow, Russian Federation

**Abstract.** Technological processes of primary processing and storage of livestock products require large volumes of low-potential thermal energy. One of the effective ways to preserve the high quality of milk, reduce the energy consumption of primary processing and storage of livestock products is the use of alternative energy sources. The author has analyzed systems for primary processing and storage of milk based on the use of natural cold, vacuum and thermoelectric modules. The article shows the advantages of such systems as compared with traditional ones and gives the classification of equipment using natural cold. It is noted that when using natural cold, the cost of electricity for cooling milk is reduced to 10...12 kWh/t, and when using a hybrid vacuum-evaporation plant – up to 15...18 kWh/t. The article presents a technological scheme of a thermoelectric installation for milk cooling and pasteurization and recuperative heating of washing water on farms with milking robots. Based on the performed analysis the author makes recommendations on the use of alternative energy sources for milk pre-cooling on farms with milking robots. It is established that the use of alternative energy sources provides for environmentally safe, energy-saving and reliable primary processing and storage of livestock products in the places of its production, and contributes to a significant reduction in losses and preservation of high quality. Studies have proved the effectiveness of using combined cooling and storage systems for livestock products using natural cold in combination with thermoelectric, vacuum, and ground cooling.

**Key words:** primary milk processing, energy saving, alternative energy sources, Peltier effect, natural cold, milking robot.

**For citation:** Korshunov A.B. Improving the efficiency of primary milk processing on farms. Agricultural Engineering (Moscow), 2022; 24(2): 34-40. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-34-40>.

**Введение.** Технологические процессы первичной обработки и хранения продукции животноводства требуют больших объемов низкопотенциальной тепловой энергии. Применяемые в настоящее время в этих целях технологии и оборудование имеют ряд недостатков, которые отрицательно влияют не только на качество и энергоёмкость производимой продукции животноводства, но и на окружающую среду [1-8].

При охлаждении и хранении молока на фермах необходимы мощное и надежное холодильное оборудование и эффективные охлаждающие системы.

Применение альтернативных источников энергии является одним из эффективных способов сохранения качества молока при снижении энергозатрат, повышении надежности и экологической чистоты технологического процесса охлаждения и хранения молока.

Анализ зарубежных и российских научных публикаций показал актуальность данных исследований<sup>1</sup> [1-13]. Альтернативные источники энергии – такие, как природный холод, вакуум и термоэлектрические модули, могут эффективно использоваться при создании умных энергосберегающих систем и оборудования для первичной обработки

и хранения молока в различных типах животноводческих ферм, линиях производства персонифицированных продуктов питания и др.

**Цель исследования:** анализ систем предварительного охлаждения молока и обоснование целесообразности их применения на фермах с доильными роботами.

**Материалы и методы.** Проводится анализ исследований по созданию новых и совершенствованию существующих систем первичной обработки и хранения молока на основе альтернативных источников энергии.

**Результаты и обсуждение.** Одним из важнейших альтернативных источников технологического холода является природный холод, который позволяет на большей территории Российской Федерации использовать его для охлаждения и хранения продукции животноводства, сохранения ее качества при сокращении потерь, экономии энергетических ресурсов и уменьшении техногенной нагрузки на экосистему страны.

Классификация оборудования для охлаждения молока с использованием природного холода представлена на рисунке 1.



Рис. 1. Оборудование для охлаждения молока с использованием природного холода

Fig. 1. Equipment for cooling milk using natural cold

Комбинированные системы охлаждения являются перспективным направлением экономии энергоресурсов при первичной обработке и хранении молока. Они сочетают природный холод с термоэлектрическими, вакуумно-испарительными и другими установками. Системы такого типа более компактны и менее материалоемки. Они часто комбинируются с системами грунтового охлаждения, что позволяет использовать их практически во всех регионах страны.

<sup>1</sup> Коршунов А.Б. Применение энергосберегающих экологически безопасных систем для охлаждения и хранения сельскохозяйственной продукции с использованием природного холода: Рекомендации. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2020. 80 с.

Повышению эффективности аккумуляции и использования природного холода способствует использование экологически безопасных хладоносителей (ЭБХ) с низкой температурой замерзания [10].

Грунтовые охлаждающие термоустановки являются одним из эффективных направлений использования природного холода<sup>2</sup> [9, 10]. В сочетании с льдоаккумуляторами они позволяют обеспечить круглогодичное охлаждение

<sup>2</sup> Коршунов Б.П. Применение природного холода в АПК / Б.П. Коршунов, Ф.Г. Марьяхин, А.И. Учеваткин, А.Б. Коршунов. М.: ФГБНУ ВИЭСХ, 2015. 168 с.

дение и хранение продукции животноводства без холодильных машин. Такие системы наиболее эффективны с индексом холода более  $400^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$  в регионах, составляющих 65...70% территории Российской Федерации. Они не требуют постоянного обслуживающего персонала и дополнительных энергетических и эксплуатационных затрат.

Термоустановки оснащаются термостабилизаторами (тепловыми трубами), «закачивающими» холод в грунт. Для этого испарительная часть термостабилизатора помещается непосредственно в грунт, а конденсаторная часть остается над поверхностью земли. В холодное время года, при разности температур между испарительной и конденсаторной частями, в тепловой трубе начинает циркулировать сжиженный газ (например, пропан), и грунт вокруг испарительной части начинает замораживаться, аккумулируя энергию природного холода. При повышении температуры наружного воздуха установка «запирается», обеспечивая запас холода на более длительный срок. Термостабилизаторы могут замораживать грунтовой массив практически любого объема и конфигурации.

В ВИМе разработаны устройство и способ охлаждения молока с использованием грунтовых охлаждающих термоустановок (RU2674895). Выполненные испытания в племзаводе-колхозе «Заветы Ильича» показали, что применение таких установок позволяет сократить затраты электроэнергии на охлаждение молока до 10...12 кВт·ч/т и исключить использование холодильной машины. Устройство может быть установлено на удаленных животноводческих фермах, комплексах и пастбищах, имеющих возможность наиболее эффективно применять источники природного холода.

Вакуумно-испарительное охлаждение является одним из перспективных путей снижения затрат энергии при сохранении высокого качества молока или молочной продукции, а также сохранения чистоты окружающей природы. Принцип его действия заключается в том, что при давлении ниже атмосферного 20...5 мм рт. ст. (2,6...0,6 кПа) происходит кипение рабочего вещества (молока, воды и т.п.), сопровождающееся интенсивным отводом тепла<sup>1</sup>.

Вакуум целесообразно использовать для быстрого охлаждения молока и других пищевых продуктов, поскольку длительность его воздействия почти на два порядка меньше конвективного способа, что способствует уменьшению затрат энергии на охлаждение. Кроме того, быстрое охлаждение продуктов, особенно после тепловой обработки, обеспечивает их длительное хранение. Использование вакуума позволяет дезодорировать и дегазировать продукт, что способствует улучшению его органолептических показателей, сохранению витаминов, снижению кислотности и, как следствие, увеличению срока хранения.

На рисунке 2 представлена комбинированная энергосберегающая система для охлаждения молока с использованием природного холода и вакуума, прошедшая испытания на ферме, рассчитанной на 100 гол., в ЗАО «Красногорье» Красногорского р-на Московской области.

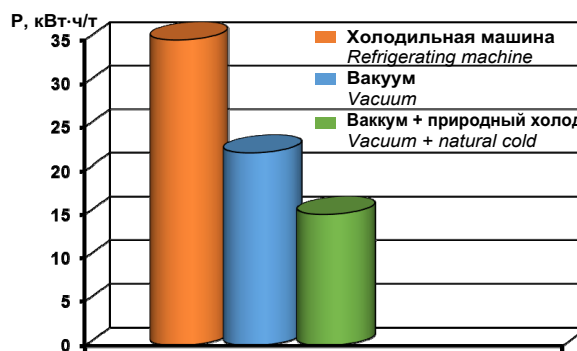
Испытания по охлаждению свежесвыдоенного молока до  $4^{\circ}\text{C}$ , проведенные на этой ферме, показали снижение удельных затрат с 35 кВт·ч/т до 20...25 кВт·ч/т, а в сочетании с природным холодом – до 15...18 кВт·ч/т при сохранении высокого качества продукции.



**Рис. 2. Комбинированная энергосберегающая система для охлаждения молока с использованием природного холода и вакуума (ЗАО «Красногорье», Красногорский р-н Московской обл.)**

**Fig. 2. Hybrid energy-saving system for cooling milk using natural cold and vacuum (Krasnogorye CJSC, Krasnogorsk district, Moscow region)**

На диаграмме, представленной на рисунке 3, показана структура удельных затрат энергии на охлаждение молока различными холодильными системами.



**Рис. 3. Удельные затраты энергии на охлаждение молока различными холодильными системами**

**Fig. 3. Specific energy consumption for milk cooling with various refrigeration systems**

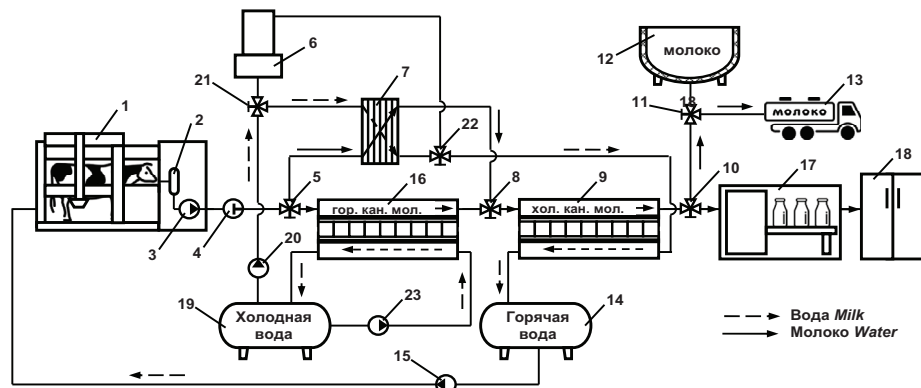
Для первичной обработки молока на фермах иногда применяют термоэлектрические модули, действующие по принципу эффекта Пельтье. Они бесшумны, надежны, не издают вибрации, могут соединяться каскадно и за счет изменения направления тока переходить из режима охлаждения в режим нагревания. При охлаждении молока до  $4^{\circ}\text{C}$  одновременно происходит нагрев воды на технологические нужды фермы, что повышает рекуперативные свойства оборудования, сокращает материалоемкость и уменьшает занимаемую площадь. Отсутствие каких-либо вредных выбросов (например, фреона) положительно сказывается на экологичности установки [11, 12].

Термоэлектрические модули являются перспективными для применения на фермах с доильными роботами, где необходимы небольшая холодопроизводительность, теплота пастеризации и возможность реверсирования и есть возможность эффективного использования в комбинации с природным холодом [13]. Такие установки разработаны в ВИМ, на них получены

патенты Российской Федерации (RU2202894, RU87877, RU2206214 и RU2760581). В этих системах установленная мощность термоэлектрических модулей сокращается на 70...75% по сравнению с номинальной мощностью, в результате чего они становятся конкурентоспособными по сравнению с традиционно

применяемыми в животноводстве системами пастеризации и охлаждения.

На рисунке 4 представлена технологическая схема термоэлектрической установки для охлаждения и пастеризации молока и рекуперативного подогрева промывочной воды на фермах с доильными роботами.



**Рис. 4. Термоэлектрическая установка для охлаждения и пастеризации молока и нагрева воды на фермах с доильными роботами:**

- 1 – доильный робот; 2 – молокосорбная колба; 3 – насос-дозатор; 4 – фильтр;  
 5, 8, 10, 11, 21, 22 – управляемый трехходовой кран; 6 – приемник-аккумулятор природного холода;  
 7 – проточный теплообменник; 9 – вторая термоэлектрическая установка; 12 – теплоизолированная емкость;  
 13 – молоковоз; 14 – емкость для хранения горячей воды; 15, 20, 23 – насос воды;  
 16 – первая термоэлектрическая установка; 17 – линия розлива по бутылкам, упаковки и маркировки;  
 18 – холодильник; 19 – емкость для хранения холодной воды

**Fig. 4. Thermoelectric plant for milk cooling and pasteurizing and water heating on farms with milking robots:**

- 1 – milking robot; 2 – milk collecting flask; 3 – dispenser pump; 4 – filter; 5, 8, 10, 11, 21, 22 – controlled three-way cock; 6 – receiver-natural cold accumulator; 7 – flow heat exchanger; 9 – second thermoelectric installation; 12 – insulated tank; 13 – milk truck; 14 – hot water storage tank; 15, 20, 23 – water pump; 16 – first thermoelectric installation; 17 – bottling, packaging and labeling line; 18 – refrigerator; 19 – cold water storage tank

Установка может работать в двух режимах: охлаждение молока; подача его в молоковоз и для персонализированной продажи.

В первом режиме молоко из доильного робота 1 поступает на проточный теплообменник 7, где предварительно охлаждается холодной водой из приемника-аккумулятора природного холода 6, а затем поступает в холодный канал второй термоэлектрической установки 9, где охлаждается в быстром тонкослойном режиме, после чего подается в теплоизолированную емкость 12, откуда направляется в молоковоз 13. Теплая вода из проточного теплообменника 7 поступает в приёмник-аккумулятор природного холода 6, образуя замкнутый контур циркуляции холодной воды, или в горячий канал второй термоэлектрической установки 9 для дополнительного нагрева, а затем – в емкость хранения горячей воды 14 для технологических нужд фермы.

Во втором режиме молоко от выбранной коровы поступает в горячий канал первой термоэлектрической установки 16 на пастеризацию, после чего подается в холодный канал второй термоэлектрической установки 9, откуда по линии розлива по бутылкам, упаковки и маркировки 17 поступает в холодильник 18.

Вода из холодного канала первой термоэлектрической установки 16 направляется в емкость для хранения холодной воды 19, откуда подается обратно в холодный канал первой термоэлектрической установки 16, образуя замкнутый контур, или в проточный теплообменник 7 и приёмник-аккумулятор природного холода 6.

Применение термоэлектрических модулей позволяет повысить уровень автоматизации системы и снизить эксплуатационные затраты на первичную обработку молока на фермах с доильными роботами.

Огромное значение при первичной обработке молока имеет предварительное охлаждение, способствующее сохранению высокого качества молока за счет исключения смешивания уже охлажденного объема с теплым свежесвыдоенным, в результате чего происходит предотвращение разрушения жировых и белковых клеток и поддержание нормальной кислотности. Это особенно важно на фермах с доильными роботами, где происходит 160...220 доек в сутки, то есть теплое молоко практически постоянно в течение суток поступает в танк-охладитель. С помощью предварительного охлаждения может быть достигнута экономия энергозатрат в среднем до 40%<sup>3</sup> [5, 6, 10].

Проведен анализ перспективности применения альтернативных источников энергии для предварительного охлаждения молока на фермах с доильными роботами. Основные варианты систем предварительного охлаждения молока на таких фермах представлены в таблице.

<sup>3</sup> Завражнов А.И. Круглогодичное использование природного холода в условиях молочно-товарных ферм Южного Урала: Рекомендации / А.И. Завражнов, А.П. Козловцев, В.И. Квашенников и др. Мичуринск: Изд-во Мичуринского ГАУ, 2016. 61 с.

Таблица

**Основные варианты систем предварительного охлаждения молока и целесообразность их применения на фермах с доильными роботами**

Table

**The main variants of milk pre-cooling systems and the feasibility of their use on farms with milking robots**

Краткое описание <i>Short description</i>	Преимущества <i>Advantages</i>	Недостатки <i>Disadvantages</i>	Целесообразность <i>Expediency</i>
Использование холодной воды из глубинных артезианских скважин центрального водоснабжения <i>Use of cold water from deep artesian wells of central water supply</i>	Можно использовать существующее водоснабжение фермы <i>Existing farm water supply can be used</i>	Относительно большой расход воды, заболачивание территории <i>Relatively high water consumption, waterlogging</i>	Для ферм с большим количеством роботов <i>For farms using a large number of robots</i>
Использование естественного холода грунта при помощи специальных скважин малой производительности, глубиной 10...15 м <i>Use of natural ground cold by means of special low capacity wells with a depth of 10...15 m</i>	Незначительные затраты на изготовление. Можно использовать на стационарных фермах и пастбищах <i>Low construction costs. Can be used on stationary farms and pastures</i>	Невозможно охладить молоко ниже температуры 13...15°C <i>Impossible to cool the milk below a temperature of 13...15°C</i>	Нет <i>No</i>
Использование холодильной установки с аккумулятором льда <i>Using a refrigeration unit with an ice storage unit</i>	Снижение установленной мощности холодильной установки, эксплуатационных затрат <i>Lowering of the installed cooling unit capacity, operating costs</i>	Дополнительные затраты на систему аккумулярования холода <i>Extra costs for the cold storage system</i>	Для ферм с большим количеством роботов <i>For farms using a large number of robots</i>
Использование приемников и аккумуляторов природного холода сезонного действия <i>Use of a receiver and seasonal ice thermal accumulators</i>	Обеспечивает снижение энергозатрат в течение холодного времени года <i>Provides lower energy costs during the cold season</i>	Дополнительные затраты на изготовление. Сезонность использования <i>Extra manufacturing costs Seasonal use</i>	Да <i>Yes</i>
Использование приемников-аккумуляторов природного холода с экологически безопасными хладоносителями с низкой температурой замерзания <i>Using natural refrigerant receivers with environmentally friendly coolants with a lower freezing point</i>	Снижаются энергозатраты и повышается надежность <i>Lower energy costs and increased reliability</i>	Дополнительные затраты на изготовление <i>Extra manufacturing costs</i>	Да <i>Yes</i>
Использование комбинированных аккумуляторов природного и искусственного холода <i>Use of combined natural and refrigeration storage units</i>	Обеспечивает снижение энергозатрат в течение круглого года <i>Provides year-round energy savings</i>	Дополнительные затраты на изготовление <i>Extra manufacturing costs</i>	Да <i>Yes</i>
Использование льдохранилищ с послойным намораживанием льда <i>Use of ice storage units with stratified refrigeration systems No refrigeration costs</i>	Отсутствуют затраты на холодильную установку. Многократно снижается потребление энергии <i>Multiply reduced energy consumption</i>	Требуются дополнительные площади и затраты на его создание <i>Extra space and construction costs required</i>	Для ферм с большим количеством роботов <i>For farms using a large number of robots</i>
Использование грунтовых льдохранилищ с экологически чистыми хладоносителями с низкой температурой замерзания <i>Use of ground ice storage tanks with environmentally friendly refrigerants with a low freezing point</i>	Круглогодичное использование, высокая надежность без применения холодильных машин. Многократно снижается потребление энергии <i>Year-round use, high reliability No need for refrigeration machines. Dramatically reduces energy requirements</i>	Требуются дополнительные площади и затраты на его создание <i>Extra space and construction costs</i>	Для ферм с большим количеством роботов <i>For farms using a large numbers of robots</i>
Использование грунтовых термостановок с экологически чистыми хладоносителями с низкой температурой замерзания <i>Use of ground-based temperature control units with environmentally friendly coolants and low freezing temperatures</i>	Круглогодичное использование, высокая надежность без применения холодильных машин. Многократно снижается потребление энергии <i>Year-round use, high reliability No need for refrigeration machines. Reduced energy consumption</i>	Требуются дополнительные площади и затраты на его создание <i>Extra space and construction costs</i>	Для ферм с большим количеством роботов <i>For farms using a large number of robots</i>
Использование комбинированных систем на основе применения природного холода и вакуума <i>Use of combined systems based on natural refrigeration</i>	Отсутствуют затраты на холодильную установку. Снижаются энергозатраты <i>No refrigeration plant costs. Lower energy costs</i>	Дополнительные затраты на вакуумное оборудование <i>Extra costs for vacuum technology</i>	Да <i>Yes</i>
Использование термоэлектрических модулей <i>Use of thermoelectric modules</i>	Отсутствуют затраты на холодильную установку. Быстрое охлаждение молока в потоке в тонкослойном режиме <i>No refrigeration costs Rapid milk cooling in the thin-layer flow mode</i>	Высокая стоимость термоэлектрических модулей <i>High costs of thermoelectric modules</i>	Да <i>Yes</i>

## Выводы

Применение природного холода, вакуума и термоэлектрических модулей позволяет повысить эффективность процесса первичной обработки молока на фермах, а также сохранить его высокие качества

## Библиографический список

1. Иванов Ю.А. Цифровое животноводство: перспективы развития // Вестник ВНИИМЖ, 2019. № 1(33). С. 4-7.
2. Кормановский Л.П. И малым фермам нужны высокие технологии и современная техника // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 4(19). С. 98-102.
3. Тихомиров И.А., Андрияшина О.Л., Скоркин А.В. Ресурсосберегающие технологии производства высококачественного молока // Вестник ВНИИМЖ. 2018. № 4. С. 92-99
4. Козловцев А.П., Панин А.А., Корякина М.А., Герасименко И.В., Козловцева С.П., Попова М.И. Состояние и перспективы развития систем охлаждения молока // Совершенствование инженерно-технического обеспечения технологических процессов в АПК: Материалы Международной научно-практической конференции. Оренбург: Издательский центр ОГАУ, 2017. С. 184-186.
5. Mhundwa R., Simon M., Tangwe S. Low-cost empirical modelling to determine cooling savings in a dairy plant using a pre-cooler. *Proceedings of the 13th Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE)*, 2016: 57-62 WOS: 000386657000009
6. Murphy M.D., Upton J., Mahony M.J. Rapid milk cooling control with varying water and energy consumption. *Biosystems Engineering*, 2013; 116(1): 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.05.007>
7. Jordan R.A., Cortez L.A.B., Silveira V.Jr., Cavalcanti-Mata M.E.R.M., de Oliveira F.D. Modeling and testing of an ice bank for milk cooling after milking. *Engenharia Agrícola*, 2018; 38(4): 510-517. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n4p510-517/2018>
8. Torres-Toledo V., Hack A., Mrabet F., Salvatierra-Rojas A., Müller J. On-farm milk cooling solution based on insulated cans with integrated ice compartment. *International Journal of refrigeration*, 2018; 90: 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.04.001>
9. Голубин С.И., Баясан Р.М., Лобанов А.Д., Баясан Т.В. Парожидкостные термостабилизаторы грунта различных типов и назначения, их конструктивные и теплотехнические особенности // Трубопроводный транспорт: теория и практика. 2012. № 4(32). С. 14-19.
10. Коршунов А.Б. Влияние энергосберегающих систем с использованием природного холода на энергоёмкость процесса охлаждения молока // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 3. С. 39-44. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-39-44>
11. Кирсанов В.В., Иванов Ю.Г., Верликова Л.Н., Кравченко В.Н. Установка для охлаждения молока с использованием термоэлектрических модулей // Агроинженерия. 2021. № 3(103). С. 49-55. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-49-55>
12. Коршунов Б.П., Учваткин А.И., Марьяхин Ф.Г., Коршунов А.Б. Система тепловой обработки молока на животноводческих фермах // Техника и оборудование для села. 2016. № 11. С. 33-36

и уменьшить негативное влияние на окружающую среду.

При использовании природного холода затраты электроэнергии на охлаждения молока сокращаются до 10...12 кВт·ч/т, а за счет комбинированной вакуумно-испарительной установки – до 15...18 кВт·ч/т.

## References

1. Ivanov Yu.A. Tsifrovoe zhivotnovodstvo: perspektivy razvitiya [Digital farming: prospects of development]. *Vestnik VNIIMZH*, 2019; 1(3): 4-7. (In Rus.)
2. Kormanovskiy L.P. I malym fermam nuzhny vysokie tekhnologii i sovremennaya tekhnika [Small farms also need high technologies and modern equipment]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*, 2016; 4(19): 98-102. (In Rus.)
3. Tikhomirov I.A., Andryukhina O.L., Skorokin A.V. Resursosberegayushchie tekhnologii proizvodstva vysokokachestvennogo moloka [Resource-saving technologies of high-quality milk production]. *Vestnik VNIIMZH*, 2018; 4: 92-99. (In Rus.)
4. Kozlovtssev A.P., Panin A.A., Koryakina M.A., Gerasimenko I.V., Kozlovtsseva S.P., Popova M.I. Sostoyanie i perspektivy razvitiya sistem okhlazhdeniya moloka. [Current state and development prospects of milk cooling systems]. *Sovershenstvovanie inzhenerno-tekhnicheskogo obespecheniya tekhnologicheskikh protsessov v APK: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Orenburg, 2017: 184-186. (In Rus.)
5. Mhundwa R., Simon M., Tangwe S. Low-cost empirical modelling to determine cooling savings in a dairy plant using a pre-cooler. *Proceedings of the 13th Conference on the Industrial and Commercial Use of Energy (ICUE)*, 2016: 57-62 WOS: 000386657000009
6. Murphy M.D., Upton J., Mahony M.J. Rapid milk cooling control with varying water and energy consumption. *Biosystems Engineering*, 2013; 116(1): 15-22. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.05.007>
7. Jordan R.A., Cortez L.A.B., Silveira V.Jr., Cavalcanti-Mata M.E.R.M., de Oliveira F.D. Modeling and testing of an ice bank for milk cooling after milking. *Engenharia Agrícola*, 2018; 38(4): 510-517. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n4p510-517/2018>
8. Torres-Toledo V., Hack A., Mrabet F., Salvatierra-Rojas A., Müller J. On-farm milk cooling solution based on insulated cans with integrated ice compartment. *International Journal of refrigeration*, 2018; 90: 22-31. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.04.001>
9. Golubin S.I., Bayasan R.M., Lobanov A.D., Bayasan T.V. Parozhidkostnyye termostabilizatory grunta razlichnykh tipov i naznacheniya, ikh konstruktivnyye i teplotekhnicheskie osobennosti [Vapor-liquid thermal stabilizers of soil of various types and purposes, their design and thermal engineering features]. *Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika*, 2012; 4(32): 14-19. (In Rus.)
10. Korshunov A.B. Vliyanie na energoemkost' protsesa ohlazhdeniya moloka energosberegayushchikh sistem s ispol'zovaniem prirodnogo kholoda [Influence of energy-saving systems using natural cold on the energy intensity of milk cooling]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2020; 14(3): 39-44. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-39-44> (In Rus.)
11. Kirsanov V.V., Ivanov Yu.G., Verlikova L.N., Kravchenko V.N. Ustanovka dlya okhlazhdeniya moloka s ispol'zovaniem termoelektricheskikh moduley [Milk cooling unit based on thermoelectric modules]. *Agricultural Engineering*, 2021; 3(103): 49-55. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-49-55> (In Rus.)
12. Korshunov B.P., Uchevatkin A.I., Maryakhin F.G., Korshunov A.B. Sistema teplovooy obrabotki moloka na fermakh [Milk heat treatment system used on farms]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2016; 11: 33-36. (In Rus.)
13. Tsoy Yu.A., Mishurov N.P. Sostoyanie i tendentsii razvitiya robotizirovannogo oborudovaniya dlya doeniya korov [Current

13. Цой Ю.А., Мишунов Н.П. Состояние и тенденции развития роботизированного оборудования для доения коров // Техника и оборудование для села. 2019. № 5(263). С. 2-9. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-5-2-7>

#### **Критерии авторства**

Коршунов А.Б. выполнил теоретические исследования, на основании полученных результатов провел обобщение и подготовил рукопись. Коршунов А.Б. имеет на статью авторские права и несет ответственность за плагиат.

#### **Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Статья поступила в редакцию 21.10.2021**

**Одобрена после рецензирования 28.02.2022**

**Принята к публикации 01.03.2022**

state and trends in the development of robotic equipment for milking cows. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*, 2019; 5(263): 2-9. <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2019-5-2-7> (In Rus.)

#### **Contribution**

A.B. Korshunov performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. A.B. Korshunov has author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### **Conflict of interests**

The author declares no conflict of interests regarding the publication of this paper.

**The article was received 21.10.2021**

**Approved after reviewing 28.02.2022**

**Accepted for publication 01.03.2022**