

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.22

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-14-23>

Алгоритм проектирования водосберегающих технико-технологических решений на молочной ферме КРС

В.В. Гордеев^{1✉}, Т.Ю. Миронова², Т.И. Гордеева³, С.В. Ковалёв⁴, В.Е. Хазанов⁵^{1, 2, 3, 4, 5} ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ; г. Санкт-Петербург, Россия¹ cow-sznii@yandex.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0001-6181-396X>² mironova-tat@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6959-049X>³ tatianaktn@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5466-6033>⁴ Kovalyov.sv@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0009-1310-4283>⁵ cow-sznii@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2370-0643>

Аннотация. Водосберегающие решения, направленные на снижение антропогенной нагрузки на окружающую среду, не всегда применяются при проектировании ферм КРС. Разработка технико-технологических решений (ТТР) является весьма трудозатратной. Исследования проведены с целью разработки алгоритма проектирования водосберегающих технико-технологических решений на молочной ферме КРС, облегчающего выбор эффективной технологии и оборудования. Алгоритм разработан на основе теоретического анализа водосберегающих решений, ранее разработанного алгоритма расчета расхода воды и образования стоков и результатов экспериментальных исследований водосберегающих технических средств. Разработанный алгоритм проектирования водосберегающих технико-технологических решений позволяет оценить эффект от применения устройств и технологий на фермах КРС поголовьем от 50 до 3000 дойных коров с одним доильным залом и наиболее распространенными типами оборудования. Апробация алгоритма проведена для молочной фермы беспривязного содержания на 1200 гол. дойного стада со шлейфом и среднесуточной продуктивностью 28 кг/гол. при доении на доильной установке типа «Карусель». В предлагаемом ТТР с наименьшим расходом воды предусмотрены мытье поилок и очистка образующихся стоков техническим средством мытья поилок, их дальнейшее использование при поении животных. Предусмотрено водосберегающее оборудование: скребок предварительной уборки, мойка высокого давления для уборки пола доильного зала, пенообразующая установка для обработки копыт, скруббер для очистки сосков вымени. Рассчитали, что внедрение водосберегающей технологии и оборудования приведет к снижению объема используемой воды на 7,0 тыс. м³/год (на 10%) и стоков почти на 7,0 тыс. м³/год (на 64%), к снижению количества выбросов CO₂ на 12,3 т/год. При этом капитальные затраты снизятся на 14,8 млн руб., эксплуатационные – на 645 тыс. руб./год, а приведенные – более чем на 2,1 млн руб. Применение алгоритма снизит трудозатраты при проектировании молочных ферм КРС и подборе эффективной технологии и оборудования.

Ключевые слова: алгоритм проектирования водосберегающих технико-технологических решений; водосберегающие решения; расход воды; очистка образующихся стоков; поголовье; молочная ферма

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (тема № FGUN-2025-0010).

Для цитирования: Гордеев В.В., Миронова Т.Ю., Гордеева Т.И., Ковалёв С.В., Хазанов В.Е. Алгоритм проектирования водосберегающих технико-технологических решений на молочной ферме КРС // Агроинженерия. 2026. Т. 28, № 4. С. 14-23. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-14-23>

ORIGINAL ARTICLE

Design algorithm for water-saving technical and technological solutions for a dairy cattle farm

V.V. Gordeev¹, T.Yu. Mironova², T.I. Gordeeva³, S.V. Kovalev⁴, V.E. Khazanov⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} IAEF – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; St. Petersburg, Russia

¹ cow-sznii@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6181-396X>

² mironova-tat@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6959-049X>

³ tatianaktn@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5466-6033>

⁴ Kovalyov.sv@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0009-1310-4283>

⁵ cow-sznii@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2370-0643>

Abstract. Water-saving solutions aimed at reducing anthropogenic pressure on the environment are often overlooked during the design of cattle farms, while the development of appropriate technical and technological solutions (TTS) remains a highly labor-intensive process. This study aimed to develop an algorithm for designing water-saving TTS for dairy cattle farms to facilitate the selection of efficient technologies and equipment. The algorithm was constructed based on a theoretical analysis of existing water-saving approaches, a previously established calculation model for water consumption and wastewater generation, and experimental data obtained from tests of water-saving technical means. The algorithm is designed to evaluate the performance of various technologies and equipment for cattle farms with herd sizes ranging from 50 to 3,000 dairy cows, operating with a single milking parlor and employing the most common types of equipment. The proposed algorithm was validated on a loose-housing dairy farm with a herd of 1,200 heads, including replacements, and an average daily milk yield of 28 kg per cow, milked using a “Carousel”-type milking installation. The lowest-water-consumption TTS variant included washing of drinking bowls, treatment of the resulting wastewater using a special device, and subsequent reuse of the treated water for animal watering. The algorithm also incorporates the use of the following water-saving equipment: a pre-cleaning scraper, a high-pressure washer for milking parlor floor cleaning, a foam-generating unit for hoof treatment, and a scrubber for cleaning teat cups. Calculations indicate that the implementation of the proposed water-saving technology and equipment would reduce total water consumption by 7.0 thousand m³/year (10%), decrease wastewater generation by nearly 7.0 thousand m³/year (64%), and lower CO₂ emissions by 12.3 t/year. Furthermore, capital expenditures would decrease by 14 million rubles, operating costs by 645 thousand rubles/year, and overall reduced costs by more than 2.1 million rubles. The application of the developed algorithm is expected to significantly reduce labor inputs in the design of dairy cattle farms and in the selection of efficient technological solutions and equipment, thereby supporting more sustainable and economically viable farm operations.

Keywords: design algorithm for water-saving technical and technological solutions; water-saving solutions; water consumption; wastewater treatment; herd size; dairy farm

Funding. The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the State Assignment of Federal Scientific Agroengineering Center VIM (Theme No. FGUN-2025-0010).

For citation: Gordeev V.V., Mironova T.Yu., Gordeeva T.I., Kovalev S.V., Khazanov V.E. Design algorithm for water-saving technical and technological solutions for a dairy cattle farm. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2026;28(4):14-23. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-4-14-23>

Введение

Развитие молочного производства во всем мире в связи с ростом населения и потребления молочной продукции сопровождается увеличением расхода пресной воды как стратегического ресурса [1]. Рациональное использование воды, ее повторное использование, рециркуляция и опреснение являются наиболее перспективными решениями проблемы нехватки воды [2]. Проектирование современных молочных ферм КРС в соответствии с рекомендуемыми

нормами РД-АПК¹ и требованиями специалистов хозяйств по качеству выполнения операций является одной из важнейших задач. При выборе технических и технологических решений разработчики не всегда учитывают расход воды ввиду неограниченного доступа к артезианским скважинам и упускают из виду, что значительное количество образующихся

¹ Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. РД-АПК 1.10.01.01-18. М., 2018. 166 с.

стоков необходимо хранить, перерабатывать и утилизировать.

Снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду позволяют водосберегающие решения, основанные на сокращении расхода воды или оборотном использовании сточных вод. Например, помимо оборудования с минимальным расходом воды, внедряются системы сбора и хранения дождевой воды в зарубежном градостроительстве [3] и осуществляются разработки для отдельных территорий РФ [4] с достаточным количеством осадков. Снизить объем стоков позволяет повторное использование воды после мытья групповых поилок специальным техническим средством (ТСМП) [5]. Практикуется прогнозирование расхода воды и стоков с применением моделей, разработанных с помощью обучения искусственных нейронных сетей как в России [6], так и за рубежом [7-9].

Помимо сбережения артезианской воды, запасы которой согласно статистическим данным уменьшаются², обоснованные водосберегающие решения будут способствовать снижению объема образующегося на ферме КРС навоза и его влажности и, соответственно, снижению затрат на его переработку, хранение и транспортировку [10, 11].

Выбор технических средств с минимальным использованием воды и устройств по сбору, очистке и оборотному использованию сточных вод, базирующийся на расчете объема расходуемой воды и экономического эффекта от внедрения выбранных решений, позволит снизить техногенное воздействие и обеспечить экологическую устойчивость агроэкосистем [12]. Проектирование и выбор оптимального решения являются трудоемким процессом, поэтому целесообразно разработать алгоритм проектирования водосберегающих технико-технологических решений на молочной ферме КРС.

Цель исследований: разработка алгоритма проектирования водосберегающих технико-технологических решений на молочной ферме КРС поголовьем от 50 до 3000 дойных коров с одним доильным залом и наиболее распространенными типами оборудования для снижения трудозатрат при проектировании молочных ферм КРС.

Материалы и методы

Возможные к внедрению водосберегающие решения предложены на основе анализа применяемых технологий водосбережения на животноводческих предприятиях, различных методов и способов

очистки воды, а также существующих технико-технологических решений (ТТР) [13]. В качестве основного критерия принятия решений на этапах проектирования водосберегающих технологий молочных ферм КРС служит получение конкурентоспособной продукции при минимальном использовании ресурсов и сохранении экологической безопасности ферм.

Разработку алгоритма выполняли на основании результатов теоретического анализа водосберегающих решений, ранее разработанного алгоритма расчета расхода воды и образования стоков [14] и результатов экспериментальных исследований водосберегающих технических средств.

Результаты и их обсуждение

Разработка технико-технологических решений является одним из первых этапов при проектировании ферм КРС. На первом этапе принимаются технологические решения и выбирается оборудование на основании планируемого поголовья животных, производственной мощности и т.д. Для снижения трудозатрат на разработку ТТР и его обоснования разработан алгоритм проектирования водосберегающих технико-технологических решений (рис.). Алгоритм представляет собой последовательность вычислительных и логических операций: ввод исходных данных, расчет расхода воды на технологические нужды для базового ТТР, выбор водосберегающих решений и оборудования, расчет расхода воды на технологические нужды для разрабатываемого ТТР, определение экономического и экологического эффекта, выбор и вывод данных.

В начале работы алгоритма вводим исходные данные: поголовье дойных коров на молочной ферме (гол.), размер технологических групп (X_1 , гол.), продуктивность (кг/гол. в сут.), наличие молодняка, способ содержания, тип доильной установки.

Расчет расхода воды на молочной ферме для базового ТТР осуществляем по алгоритму расчета расхода воды на фермах КРС [14], где, помимо исходных данных и нормативно-справочной информации, учитываются общепринятые методы хозяйствования (периодичность выполнения операций, структура молодняка и т.д.).

Далее производим проверку:

$$\text{Доеение в доильном зале} = \text{да.} \quad (1)$$

При выполнении условия (1) проводим оптимизацию технологического решения доильного зала с минимальной площадью полов. На площадь доильного зала влияют размер технологической группы (X_1), размер (X_2) и тип (X_3) доильной установки, количество моек пола (X_3) и время разового доения (X_4) [15].

² О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году: Государственный доклад. М.: Минприроды России; ФГБУ «ВНИИ Экология», 2025. 721 с.

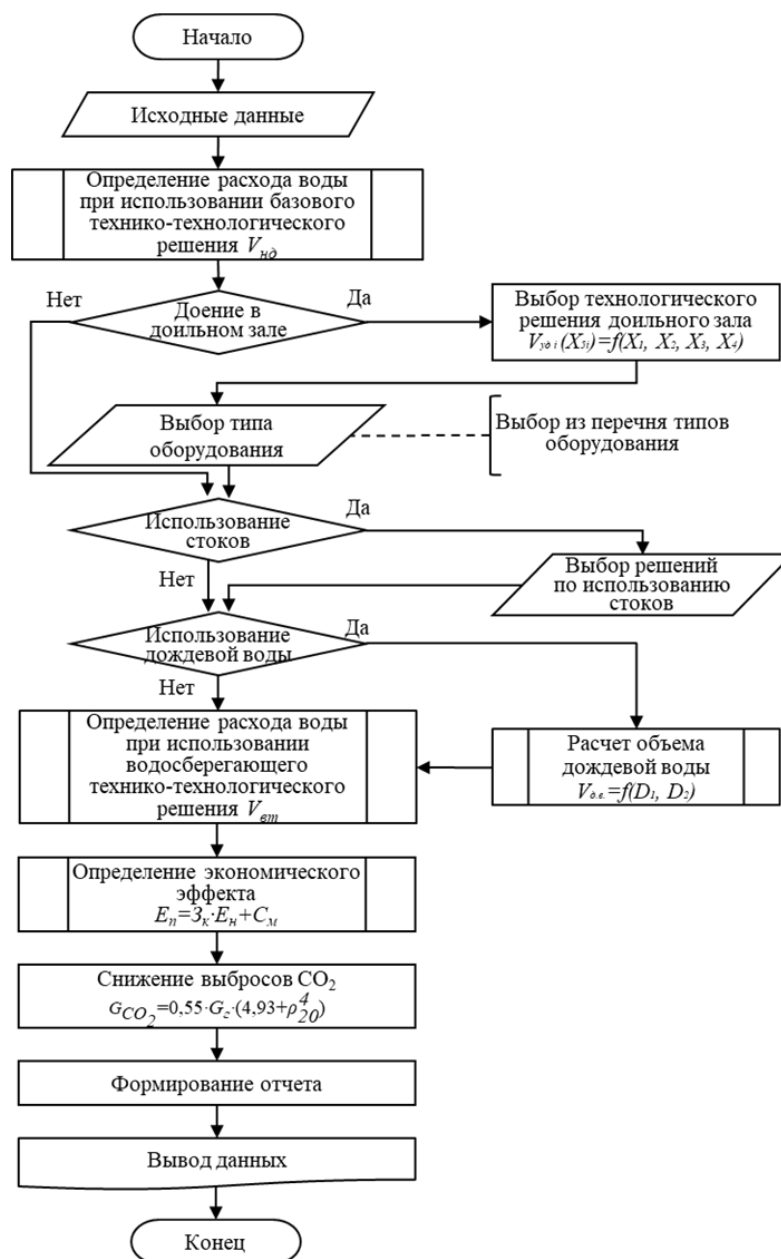


Рис. Блок-схема алгоритма проектирования водосберегающих технико-технологических решений на молочных фермах КРС:

$V_{но}$ – объем расходуемой воды при базовом ТТР, м³/сут.; $V_{удт}$ – технологическое решение доильного зала;
 X_1 – размер технологической группы; X_2 – размер доильной установки; X_3 – количество моек пола;
 X_4 – время разового доения; X_5 – тип доильной установки; $V_{вт}$ – объем расходуемой воды при водосберегающем ТТР, м³/сут.;
 $V_{д.в.}$ – объем дождевой воды, собираемой с крыш, м³/сут.; D_1 – площадь крыш зданий и сооружений, м²;
 D_2 – норма выпадения осадков в разных климатических зонах, мм/год; E_n – экономический эффект, руб.;
 Z_k – снижение капитальных затрат, руб.; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;
 C_m – снижение себестоимости производства молока, руб.; G_{CO_2} – снижение выбросов CO₂, т/год;
 G_z – годовой расход моторного топлива, т/год; ρ_{20}^4 – относительная плотность моторного топлива

Fig. Block diagram of the algorithm for designing water-saving technical and technological solutions for dairy cattle farms:

$V_{но}$ – volume of water consumed under the baseline TTS, m³/day; $V_{удт}$ – technological solution for the milking parlor;
 X_1 – size of the technological group; X_2 – size of the milking installation; X_3 – number of floor washings;
 X_4 – time of a single milking session; X_5 – type of milking installation; $V_{вт}$ – volume of water consumed under the water-saving TTS, m³/day; $V_{д.в.}$ – volume of rainwater collected from roofs, m³/day;
 D_1 – roof area of buildings and structures, m²; D_2 – precipitation rate in different climatic zones, mm/year;
 E_n – economic effect, rubles; Z_k – reduction in capital costs, rubles; E_n – standard efficiency coefficient of capital investments;
 C_m – reduction in milk production cost, rubles; G_{CO_2} – reduction in CO₂ emissions, t/year;
 G_z – annual consumption of motor fuel, t/year; ρ_{20}^4 – relative density of motor fuel

Затем выбираем тип водосберегающего оборудования для выполнения технологических операций по очистке сосков вымени, уборке пола доильного зала, обработке копыт (табл. 1).

При невыполнении условия (1) проводим проверку:

Использование очищенных стоков = да. (2)

При выполнении условия (2) выбираем решения по очистке сточных вод: утилизация стоков в теплице, очистка в локальных очистных сооружениях и использование на технологические нужды, очистка стоков от мытья поилок и повторное использование на технологические нужды, использование стоков первых циклов промывки доильного оборудования на поение телят.

При невыполнении условия (2) проводим проверку:

Использование дождевой воды = да. (3)

При выполнении условия (3) рассчитываем объем собираемой с крыш зданий и сооружений дождевой воды. На объем собираемой дождевой воды будут влиять площадь крыш зданий (D_1) и сооружений, норма выпадения осадков (D_2) в разных климатических зонах.

При невыполнении условия (3) определяем расход воды с учетом выбранных решений. Расчет выполняем по алгоритму расчета расхода воды на фермах КРС [14].

Определяем снижение объема используемой артезианской воды на молочной ферме за счет применения водосберегающих решений относительно базового ТТР, рассчитанного по нормативным данным:

$$\Delta_{вод} = V_{н.д.} - V_{в.м.}, \quad (4)$$

где $V_{н.д.}$ – объем расходуемой воды при базовом ТТР, м³/сут.; $V_{в.м.}$ – объем расходуемой воды для разрабатываемого ТТР, м³/сут.

Экономия денежных средств осуществляется за счет изменения капитальных затрат на строительство лагун для хранения навоза, стоимости внедряемого водосберегающего оборудования, изменения себестоимости производства молока, включающей в себя изменение амортизационных отчислений, затрат на электроэнергию, топливо, заработную плату и премии [16].

Экономический эффект в виде снижения приведенных затрат производства молока за счет применения водосберегающих решений относительно базового решения определим из выражения:

$$E_n = 3_k \cdot E_n + C_m, \quad (5)$$

где 3_k – снижение капитальных затрат, руб.; E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; C_m – снижение себестоимости производства молока, руб.

Снижение капитальных затрат на строительство лагун для хранения навоза, внедрение водосберегающего оборудования для разрабатываемого ТТР относительно базового определим из выражения:

$$3_k = 3_l - \Sigma 3_{об.i}, \quad (6)$$

где 3_l – снижение капитальных затрат на строительство лагун для хранения навоза, руб.; $\Sigma 3_{об.i}$ – стоимость i -го оборудования, используемого в разрабатываемом ТТР, руб.

Снижение капитальных затрат на строительство лагун хранения навоза для разрабатываемого ТТР относительно базового рассчитаем по формуле:

$$3_l = 365 \cdot \Delta_{вод} \cdot C_{стр}, \quad (7)$$

где 365 – коэффициент перевода дней в год; $\Delta_{вод}$ – снижение объема используемой артезианской воды на выполнение технологических операций, м³/сут.; $C_{стр}$ – стоимость строительства 1 м³ лагуны хранения навоза, руб/м³.

Таблица 1

Перечень типов оборудования для выполнения технологических операций

Table 1

List of equipment types required for performing technological operations

Операция	Оборудование	Расход воды, л/гол.	Объем образующихся стоков, л/гол.	Коэффициент влияния технологического оборудования на расход воды
Очистка сосков вымени	Ведро (норматив РД-АПК)	6	6	1
	Щетка-душ (норматив РД-АПК)	2	2	0,33
	Скруббер (технические характеристики)	0,15	0,3	0,03
	Одноразовые салфетки	0	0	0
Обработка копыт	Ванна (норматив РД-АПК)	2	2	1
	Гидродинамическая ванна (технические характеристики)	0,72	0,75	0,36
	Пенообразующая установка (технические характеристики)	0,59	0,6	0,3
...				

Снижение себестоимости производства молока для разрабатываемого ТТР относительно базового вычислим по формуле:

$$C_{cmp} = A_k + O_{TOuP} + \mathcal{E}_i + T_i + \mathcal{Z}_i, \quad (8)$$

где A_k – снижение амортизационных отчислений, руб/год; O_{TOuP} – снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования, сооружений и т.д., руб/год; $\mathcal{E}_i$ – снижение затрат на электроэнергию, руб/год; T_i – снижение затрат на топливо, руб/год; $\mathcal{Z}_i$ – снижение затрат на заработную плату и премии, руб/год.

Снижение амортизационных отчислений (A_k , руб/год) для разрабатываемого ТТР относительно базового –

$$A_k = A_{\text{л}} - \Sigma A_{\text{об.}i}, \quad (9)$$

где $A_{\text{л}}$ – снижение амортизационных отчислений от лагун хранения навоза, руб/год; $\Sigma A_{\text{об.}i}$ – увеличение амортизационных отчислений от i -го оборудования, используемого в разрабатываемом ТТР, руб/год.

Снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования, сооружений и т.д. для разрабатываемого ТТР относительно базового –

$$O_{TOuP} = O_{\text{л}} - \Sigma O_{\text{об.}i}, \quad (10)$$

где $O_{\text{л}}$ – снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт лагун хранения навоза, руб/год; $\Sigma O_{\text{об.}i}$ – увеличение затрат на техническое обслуживание и ремонт от i -го оборудования, используемого в разрабатываемом ТТР, руб/год.

Снижение затрат на техническое обслуживание и ремонт можно рассчитать по формуле:

$$O_{\text{л}} = C \cdot n, \quad (11)$$

где C – стоимость оборудования, сооружений и т.д., руб.; n – норма годовых затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования, сооружений и т.д., %.

Снижение стоимости электроэнергии за счет уменьшения расхода воды и энергопотребления оборудования для разрабатываемого ТТР относительно базового –

$$\mathcal{E}_i = \Sigma \mathcal{E}_i \cdot u_{\text{э}}, \quad (12)$$

где $\mathcal{E}_i$ – снижение энергопотребления на ферме для i -го технологического решения, кВт·ч/сут.; $u_{\text{э}}$ – стоимость 1 кВт·ч электроэнергии, руб/(кВт·ч).

Снижение стоимости топлива за счет уменьшения объема образующихся стоков, транспортируемых с навозом на поля для разрабатываемого ТТР, относительно базового –

$$T_i = \Sigma T_i \cdot u_{\text{м}}, \quad (13)$$

где T_i – снижение расхода топлива на ферме для i -го технологического решения, л/сут.; $u_{\text{м}}$ – стоимость 1 л топлива, руб/л.

Снижение затрат на заработную плату и премии тракториста, оператора ТСМП для разрабатываемого ТТР относительно базового –

$$\mathcal{Z}_i = \Sigma (\mathcal{Z}_{\text{мр.}i \text{ нр.}} + \mathcal{Z}_{\text{мр.о}}), \quad (14)$$

где $\mathcal{Z}_{\text{мр.}i \text{ нр.}}$ – снижение затрат на заработную плату и премии на ферме, руб/сут.; $\mathcal{Z}_{\text{мр.о}}$ – снижение затрат на отчисления по заработной плате, руб/сут.

Величину выбросов углекислого газа от сжигания моторного топлива, расходуемого на транспортировку навоза на поля [17], в зависимости от расхода и плотности топлива можно рассчитать по формуле³:

$$G_{\text{CO}_2} = 0,55 \cdot G_2 \cdot (4,93 + \rho_{20}^4), \quad (15)$$

где G_2 – годовой расход моторного топлива, т/год; ρ_{20}^4 – относительная плотность моторного топлива.

Годовой расход моторного топлива G_2 (т/год), используемого на транспортировку навоза на поля, –

$$G_2 = \frac{G_{\text{ч}} \cdot \Delta_{\text{вод}} \cdot \rho_{\text{с}}}{1000 \cdot P_{\text{м}}}, \quad (16)$$

где $G_{\text{ч}}$ – часовой расход моторного топлива, кг/ч; $\rho_{\text{с}}$ – плотность стоков, поступающих в навоз, т/м³; $P_{\text{м}}$ – производительность транспортировки и внесения навоза, т/ч; 1000 – коэффициент перевода кг в 1 т.

После вычисления показателей формируется отчет с использованием выбранных выводимых данных: разработанное технико-технологическое решение и эколого-экономический эффект разработанного ТТР.

Представленный алгоритм проектирования предназначен для разработки технико-технологических решений молочных ферм КРС поголовьем от 50 до 3000 дойных коров с одним доильным залом и наиболее распространенными типами оборудования.

Апробацию алгоритма проектирования водосберегающих технико-технологических решений проводили для молочной фермы беспривязного содержания на 1200 гол. дойного стада со шлейфом и среднесуточной продуктивностью 28 кг/гол. при доении на доильной установке типа «Карусель». В разработанном ТТР с наименьшим расходом воды предусмотрены мытье поилок и очистка образующихся стоков техническим средством мытья поилок (ТСМП) [5] для последующего использования на поение (табл. 2). Применено водосберегающее

³ Голубева А.С., Магарил Е.Р. Экологическая безопасность эксплуатации автотранспорта: Учебное электронное текстовое издание. Екатеринбург: УрФУ, 2015. 26 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://docplayer.ru/33245005-Ekologicheskaya-bezopasnost-ekspluatatsii-avtotransporta.html> (дата обращения: 16.04.2025).

оборудование: скребок предварительной уборки, мойка высокого давления для уборки пола доильного зала, пенообразующая установка для обработки копыт, скруббер для очистки сосков вымени.

Применение водосберегающих решений позволяет снизить расход артезианской воды и выход стоков, тем самым снизить стоимость производства молока и антропогенную нагрузку на окружающую среду.

С помощью разработанного алгоритма проектирования проведен сравнительный анализ расхода артезианской воды и выхода стоков для базового и разработанного ТТР (табл. 3). Под базовым ТТР подразумевается использование воды без повторного ее направления в производство. Расход воды применяемыми техническими средствами указан в нормативных источниках⁴. Для разрабатываемого ТТР предусмотрены мытье поилок и очистка образующихся стоков для повторного использования. При расчете учитывали технические средства водосбережения: скребок и мойка высокого давления, пенообразующая установка, скруббер.

Использование скруббера позволило снизить расход артезианской воды для очистки сосков вымени

на 7,18 м³/сут. (99%). Применение пенообразующих установок на обработку копыт сократило расход воды на 0,60 м³/сут. (70%), а скребка и мойки высокого давления при уборке пола доильного зала – на 4,27 м³/сут. (60%). При этом на технологические нужды расход воды снизился на 40%, а общий расход воды на ферме – на 10%. Годовой объем используемой воды снизился на 7,0 тыс. м³, годовой выход стоков снизился почти на 7,0 тыс. м³, что ниже базового на 64%.

Помимо снижения расхода воды и объема образующихся стоков, уменьшится количество выбросов парникового газа СО₂ на 12,3 т/год, образующегося от сгорания топлива при транспортировке и внесении навоза на поля объемом 7,0 тыс. м³/год.

Оценка экономической эффективности разработанного ТТР выполнялась в сравнении с базовым вариантом. Заработная плата, стоимость электроэнергии и топлива рассчитывались исходя из средних показателей в сельскохозяйственной отрасли Ленинградской области на апрель 2025 г. Основные показатели экономической оценки ТТР представлены в таблице 4. Положительные значения показателей

Таблица 2

Разработанное водосберегающее ТТР молочной фермы на 1200 дойных коров со шлейфом

Table 2

Developed water-saving TTS for a dairy farm with 1,200 dairy cows including replacements

Технологический процесс					
Содержание	Кормление животных	Поение животных	Доеение коров	Охлаждение и хранение молока	Навозоудаление
Формирование технологических групп по 75 гол.	Компоненты рациона: силос, вода, комбикорм и т.д.	Подача воды до поилок насосом	Подгон коров в доильную установку автоподгонщиком со скребком	Предварительное охлаждение льдогенератором	Уборка навоза в коровниках скреперной установкой
Содержание коров и молодняка – беспривязное боксовое; телята – индивидуальная клетка	Взвешивание (дозирование) кормораздатчиком-смесителем	Подогрев воды с использованием групповых поилок с подогревом	Обработка сосков перед доением скруббером	Охлаждение и хранение в танке-охладителе	Уборка преддоильной площадки автоподгонщиком со скребком и мойкой высокого давления
	Смешивание кормораздатчиком-смесителем	Мытье поилок ТСМП	Доеение в доильной установке «Карусель»	Промывка танков-охладителей аппаратом промывки	Уборка доильного зала скребком и мойкой высокого давления
	Транспортировка и раздача кормораздатчиком-смесителем	Очистка стоков ТСМП	Обработка копыт пенообразующей установкой		Транспортировка насосом
		Использование очищенных стоков при поении	Промывка доильного оборудования аппаратом промывки		

⁴ Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. РД-АПК 1.10.01.01-18. М., 2018. 166 с.

соответствуют снижению затрат, отрицательные значения – увеличению.

Использование разработанного ТТР для фермы поголовьем 1200 дойных коров позво-

ляет снизить стоимость капитальных затрат на 14,8 млн руб., эксплуатационные затраты – на 645 тыс. руб/год, а приведенные затраты – более чем на 2,1 млн руб.

Таблица 3

Расход воды для базового и разработанного ТТР для фермы на 1200 гол. дойного стада со шлейфом

Table 3

Water consumption for the baseline and developed TTS for a farm with 1,200 heads of dairy herd including replacements

Технологические операции	Расход воды, м ³ /сут.	
	Базовый вариант	Предлагаемый вариант
Приготовление кормов для коров	7,48	7,48
Поение животных, в т.ч. очищенная вода	153,19 0	153,19 7,08
Мытье поилок	7,08	7,08
Приготовление ЗЦМ для телят	1,19	1,19
Мытье ведерок для выпойки телят	1,90	1,90
Санитарная дезинфекция клеток для телят	0,16	0,16
Очистка сосков вымени	7,20	0,02 (1%)*
Уборка пола доильного зала	7,12	2,85 (40%)*
Промывка доильного оборудования	4,50	4,50
Промывка молочных танков	1,26	1,26
Обработка копыт	0,86	0,26 (30%)*
Общий расход воды на ферме,	191,94	172,81 (90%)*
в т.ч. на технологические нужды	30,08	18,03 (60%)*

*В скобках указан расход воды относительно базового варианта, %.

Таблица 4

Эколого-экономические показатели эффективности разработанного ТТР

Table 4

Ecological and economic efficiency indicators of the developed TTS

Показатель	Значение
Снижение стоимости капитальных вложений, тыс. руб.,	14786,13
в т.ч. капитальные вложения на строительство лагун хранения навоза*	17456,13
стоимость технического средства мытья поилок	–500
стоимость скруббера	–1500
стоимость мойки высокого давления	–340
стоимость пенообразующей установки	–330
Снижение эксплуатационных затрат, тыс. руб/год,	645,39
в т.ч. амортизационные отчисления, общие	164,245
затраты на ТО и ремонт, общее	215,62
оплата труда, общее	–45,7
отчисления на заработную плату, общее	–12,69
топливо	313,98
электроэнергия, общее	0,40
Снижение приведенных затрат, тыс. руб/год	2124,00

*По данным специалистов строительной организации.

Выводы

1. Разработанный алгоритм проектирования водосберегающих технико-технологических решений для молочных ферм КРС позволяет рассчитать эффект от внедрения предлагаемого ТТР.

2. Для водосберегающего ТТР, предусматривающего мытье поилок и очистку образующихся стоков для повторного использования, применение скребка и мойки высокого давления,

пенообразующей установки и скруббера, расчет показал снижение расхода воды и объема образующихся стоков до 7 тыс. м³/год, уменьшение выбросов CO₂ на 12,3 т/год от сжигания топлива при транспортировке и внесении навоза на поля, снижение капитальных затрат на 14,8 млн руб., эксплуатационных затрат – на 645 тыс. руб/год, приведенных затрат – более чем на 2,1 млн руб.

Список источников

1. Al-Bahouh M., Osborne V., Wright T., Dixon M., VanderZaag A., Gordon R. Blue water footprints of Ontario dairy farms. *Water*. 2021;13(16):2230. <https://doi.org/10.3390/w13162230>
2. Hodúr C., Nagypál V., Fazekas Á., Mikó E. Blue and gray water footprint of some Hungarian milking parlors. *Water Practice and Technology*. 2022;17(7):1378-1389. <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.073>
3. Садковская О.Е. Технологии эко-урбанизма как ответ на последствия изменения климата // Урбанистика. 2018. № 2. С. 98-122. EDN: OSRDRF
4. Крашенинников А.В., Садковская О.Е. Градостроительная реконструкция малых и средних городов с учетом изменения климата // Sciences of Europe. 2017. № 18-2. С. 3-12. EDN: ZHMUSH
5. Гордеев В.В., Ковалев С.В., Хазанов В.Е., Гордеева Т.И. Разработка технического средства для мытья групповых поилок КРС // Техника и технологии в животноводстве. 2025. Т. 15, № 4. С. 102-110. EDN: GLERIV
6. Рогачев Д.А. Цифровизация системного водораспределения: оптимизация, автоматизация, искусственный интеллект // Мелиорация и водное хозяйство. 2025. № 2. С. 34-38. EDN: KNJOGJ
7. Osaki M.R., Palhates J.C.P. and Aguiar F.G. *Bioscience Journal*. 2024;40: e40009. <https://doi.org/10.14393/BJ-v40n0a2024-68845>
8. Shine P., Murphy M.D., Upton J., Scully T. Machine-learning algorithms for predicting on-farm direct water and electricity consumption on pasture based dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018;150:74-87. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.023>
9. Valle F., Anklam K., Döpfer D. Artificial intelligence – assisted monitoring of water usage for cooling cows on a dairy farm. *Animals*. 2025;15(23):3470. <https://doi.org/10.3390/ani15233470>
10. Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Папушин Э.А. Энергетический анализ технологии сушки навоза и помета // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 4. С. 101-112. EDN: SPZBEL
11. Слиган М.Е., Гордеев В.В. Сравнительная оценка систем навозоудаления на фермах КРС в условиях Северо-Запада России // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 3. С. 168-183. EDN: AUFQUE
12. Брюханов А.Ю., Попов В.Д., Васильев Э.В., Папушин Э.А. Концепция управления экологической безопасностью агроэкосистем // АгроЭкоИнженерия. 2022. № 4. С. 4-18. EDN: CMQXUA
13. Миронова Т.Ю., Ковалев С.В., Хазанов В.Е., Гордеева Т.И. Пути сокращения расхода воды при производстве молока на фермах КРС // АгроЭкоИнженерия. 2024. № 1. С. 135-149. EDN: XYSJKY
14. Гордеев В.В., Гордеева Т.И., Миронова Т.Ю., Ковалев С.В. Алгоритм расчета расхода воды на молочной ферме КРС с привязным и беспривязным

References

1. Al-Bahouh M., Osborne V., Wright T., Dixon M., VanderZaag A., Gordon R. Blue water footprints of Ontario dairy farms. *Water*. 2021;13(16):2230. <https://doi.org/10.3390/w13162230>
2. Hodúr C., Nagypál V., Fazekas Á., Mikó E. Blue and gray water footprint of some Hungarian milking parlors. *Water Practice and Technology*. 2022;17(7):1378-1389. <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.073>
3. Sadkovskaya O.E. Eco-urbanism technologies as a response to the effects of climate change. *Urban Studies*. 2018;2:98-122. (In Russ.) <https://doi.org/10.7256/2310-8673.2018.2.25641>
4. Krashenninikov A.V. Sadkovskaya, O.E. Reconstruction of the small cities of the Rostov region with consideration for climate change. *Sciences of Europe*. 2017;18-2:3-12. (In Russ.)
5. Gordeev V.V., Kovalev S.V., Khazanov V.E., Gordeeva T.I. Development of a technical means for cattle group drinkers' washing. *Machinery and Technologies in Livestock*. 2025;15(4):102-110. (In Russ.)
6. Rogachev D.A. Digitalization of system water distribution: optimization, automation, artificial intelligence. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo*. 2025;2:34-38. (In Russ.)
7. Osaki M.R., Palhates J.C.P. and Aguiar F.G. *Bioscience Journal*. 2024;40:e40009. <https://doi.org/10.14393/BJ-v40n0a2024-68845>
8. Shine P., Murphy M.D., Upton J., Scully T. Machine-learning algorithms for predicting on-farm direct water and electricity consumption on pasture based dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018;150:74-87. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.03.023>
9. Valle F., Anklam K., Döpfer D. Artificial intelligence – assisted monitoring of water usage for cooling cows on a dairy farm. *Animals*. 2025;15(23):3470. <https://doi.org/10.3390/ani15233470>
10. Briukhanov A.Yu., Vasilev E.V., Papushin E.A. Energy analysis of drying technology of animal and poultry manure. *AgroEcoEngineering*. 2024;4:101-112. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-101-112>
11. Sligan M.E., Gordeev V.V. Comparative evaluation of manure removal systems on cattle farms in the conditions of the North-west of Russia. *AgroEcoEngineering*. 2024;3:168-183. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-168-183>
12. Briukhanov A.Yu., Popov V.D., Vasilev E.V., Papushin E.A. Management concept of ecological safety of agro-eco-systems. *AgroEkoInzheneriya*. 2022;4:4-18. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-4113-4-18>
13. Mironova T.Yu., Kovalev S.V., Khazanov V.E., Gordeeva T.I. Ways to reduce water consumption in milk production on cattle farms. *AgroEkoInzheneriya*. 2024;1:135-149. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-1118-135-148>
14. Gordeev V.V., Gordeeva T.I., Mironova T.Y., Kovalev S.V. Algorithm of calculation of water consumption on dairy cattle farm with tied and loose housing at milking in milking parlors.

содержанием при доении в доильных залах // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25, № 6. С. 1179-1190. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1179-1190>

15. Миронова Т.Ю., Гордеев В.В., Валге А.М. Способ минимизации выхода навозосодержащих стоков из доильного зала // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019. № 56. С. 178-184. <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-13178>

16. Юхин Г.П., Мартынов В.М., Шахов В.А. и др. Производство молока на роботизированной молочной ферме // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022. № 5. С. 150-153. EDN: XDYMDI

17. Васильев Э.В. Обоснование рационального радиуса транспортировки органических удобрений // Молочнохозяйственный вестник. 2014. № 1. С. 49-55. EDN: SAYOYT

Информация об авторах

¹ Гордеев Владислав Владимирович, канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник; cow-sznii@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0001-6181-396X>; SPIN-код: 7547-0935

² Миронова Татьяна Юрьевна, канд. техн. наук, научный сотрудник; mironova-tat@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6959-049X>; SPIN-код: 2491-9113

³ Гордеева Татьяна Ивановна, канд. техн. наук, доцент, старший научный сотрудник; tatianaktn@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-5466-6033>; SPIN-код: 7137-5586

⁴ Ковалёв Сергей Владимирович, младший научный сотрудник; Kovalyov.sv@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0009-1310-4283>; SPIN-код: 2654-9599

⁵ Хазанов Виктор Евгеньевич, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник; cow-sznii@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2370-0643>; SPIN-код: 8658-0774

^{1, 2, 3, 4, 5} ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ; 196634, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Филтровское ш., 3

Вклад авторов

В.В. Гордеев – методология, руководство исследованиями; Т.Ю. Миронова – обзор источников литературы; Т.И. Гордеева – формирование структуры статьи, создание окончательной версии рукописи и ее редактирование; С.В. Ковалёв – администрирование данных, визуализация, описание результатов и формирование выводов исследований, создание черновика рукописи; В.Е. Хазанов – концептуализация, постановка задачи.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 27.02.2026, после рецензирования и доработки 06.07.2026, принята к публикации 08.07.2026

Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1179-1190. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1179-1190>

15. Mironova T.Yu., Gordeev V.V., Valge A.M. Method for minimizing the exit of manure containing sewage from the milking parlor. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019;56:178-184. (In Russ.) <http://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-13178>

16. Yukhin G.P., Martynov V.M., Shakhov V.A. et al. Milk production on a robotic dairy farm. *Izvestia Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;5:150-153. (In Russ.) <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-97-5-150-153>

17. Vasilev E.V. Basis of the rational radius of the manure transportation. *Molochnokhozaystvenny vestnik*. 2014;1:49-55. (In Russ.)

Author Information

Vladislav V. Gordeev¹, CSc (Eng), Associate Professor, Lead Research Engineer; cow-sznii@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0001-6181-396X>; Scopus Author ID: 57197386387

Tatiana Yu. Mironova², CSc (Eng), Research Engineer; mironova-tat@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-6959-049X>

Tatiana I. Gordeeva³, CSc (Eng), Associate Professor, Senior Research Engineer; tatianaktn@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-5466-6033>

Sergey V. Kovalev⁴, Junior Research Engineer; Kovalyov.sv@yandex.ru; <https://orcid.org/0009-0009-1310-4283>

Viktor E. Khazanov⁵, CSc (Eng), Lead Research Engineer; cow-sznii@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2370-0643>
^{1, 2, 3, 4, 5} IAEP – Branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 196634, Russian Federation, St. Petersburg, Tyarlevo, Filtrovskoe Ave., 3

Author Contributions

V.V. Gordeev – methodology, research supervision; T.Yu. Mironova – literature review; T.I. Gordeeva – writing – original draft, review and editing of the manuscript; S.V. Kovalyov – data curation; visualization; formal analysis; validation; writing – original draft; V.E. Khazanov – conceptualization.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism

Received 27.02.2026; Revised 06.07.2026; Accepted 08.07.2026