

Структурно-функциональные модели построения автоматизированных и роботизированных молочных ферм нового поколения

Владимир Вячеславович Кирсанов,
доктор технических наук, главный научный
сотрудник, e-mail: kirvv2014@mail.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали, что крупные молочно-товарные комплексы на 2000 коров и более создают повышенную экологическую нагрузку на окружающую среду. Назвали основные возникающие при этом задачи: создание оптимального микроклимата в помещениях для разных половозрастных групп; обеспечение щадящих и комфортных режимов технологического и ветеринарно-санитарного обслуживания и содержания животных; переработка отходов; повышение продуктивного долголетия коров до 4-5 лактаций. (*Цель исследований*) Разработать методологии модульного построения расширенного типоразмерного ряда автоматизированных и роботизированных животноводческих ферм нового поколения. (*Материалы и методы*) Предложили основные критерии и показатели построения «умной» фермы: минимальные затраты корма на единицу продукции; пониженный расход энергии; оптимальная капиталоемкость оборудования и инженерных сооружений в расчете на одно скотоместо; минимальная себестоимость единицы продукции при ее высоком качестве. Получили критериальное уравнение для суммарного функционала молочной фермы. (*Результаты и обсуждение*) Проанализировали структурно-функциональные схемы молочных ферм различной конфигурации и размеров (Т-Н-образной формы), в том числе совмещенные фермы-хранилища, позволяющие создать объединенную функционально-логистическую инфраструктуру, состоящую из типовых модульных единиц. Предложили концепцию построения технологического модуля «умной» роботизированной фермы на 400 голов с совмещенными секционными хранилищами кормов и отходов, роботизированным доильным залом, многофункциональным электрифицированным роботизированным погрузчиком-пододвигателем-кормораздатчиком и оборудованием для дифференцированного обеспечения микроклимата. (*Выводы*) Разработали методы, модели и структурно-функциональные схемы модульного построения автоматизированных и роботизированных молочных ферм нового поколения различных форм и типоразмеров. Подтвердили их преимущества: оптимальные сроки возведения, щадящее воздействие на биологические объекты и окружающую среду, повышение уровня цифровизации и автоматизации производства, продуктивного долголетия животных, рентабельности молочного животноводства в целом.

Ключевые слова: молочная ферма Т-Н-образной формы, молочно-товарный комплекс, модульная единица, технологический модуль, коровник, доильно-молочный блок.

Для цитирования: Кирсанов В.В. Структурно-функциональные модели построения автоматизированных и роботизированных молочных ферм нового поколения // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. №1. С. 4-9. DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-4-9.

Structural and Functional Models for Building New Generation Automated and Robotic Dairy Farms

Vladimir V. Kirsanov,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher,
e-mail: kirvv2014@mail.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The authors showed that large dairy complexes for over 2,000 cows create an increased environmental burden on the environment. The main tasks arising in this case were named: creating an optimal indoor microclimate for different age and gender groups of animals; providing sparing and comfortable modes of technological, veterinary and sanitary care and keeping animals; waste recycling; increasing the productive longevity of cows up to 4-5 lactations. (*Research purpose*) To develop methodologies for modular construction of an expanded standard-size range of new generation automated and

robotic livestock farms. (*Materials and methods*) The authors proposed the main criteria and indicators for building a "smart" farm: minimum feed costs per unit of production; reduced energy consumption; optimal capital intensity of equipment and engineering structures per one livestock place; the minimum cost per unit of production with its high quality. The authors received the criterion equation for the total functional of the dairy farm. (*Results and discussion*) The authors analyzed the structural and functional diagrams of various configuration and size dairy farms (T-H-shaped), including combined storage farms, which make it possible to create a combined functional and logistics infrastructure consisting of standard modular units. The authors proposed the concept of building a technological module for a "smart" robotic farm for 400 heads with combined sectional feed and waste storage facilities, a robotic milking parlor, a multifunctional electrified robotic feed loader-pusher-dispenser and equipment for microclimate differentiated provision. (*Conclusions*) The authors developed methods, models, structural and functional schemes for modular construction of new generation automated and robotic dairy farms of various shapes and sizes. Their following advantages were confirmed: the optimal construction time, a sparing effect on biological objects and the environment, an increase in the production digitalization and automation level, the animal productive longevity, the dairy farming profitability in general.

Keywords: T-H-shaped dairy farm, dairy complex, modular unit, technological module, cowshed, milking and dairy unit.

For citation: Kirsanov V.V. Strukturno-funktsional'nye modeli postroeniya avtomatizirovannykh i robotizirovannykh molochnykh ferm novogo pokoleniya [Structural and functional models for building new generation automated and robotic dairy farms]. *Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii*. 2022. Vol. 16. N1. 4-9 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2022-16-1-4-9.

Животноводческие комплексы – крупные объекты компактной моноблочной или павильонной застройки, осуществляемой по единому генеральному плану [1]. Хранилища кормов, помещения для животных, зооветблоки и другая инфраструктура находятся, как правило, на одной закрытой территории. В непосредственной близости от объекта расположены системы водоснабжения, переработки и хранения навоза. В последние годы в разных регионах России строят очень крупные комплексы на 2000, 3000 и более голов КРС, что создает повышенную экологическую нагрузку на окружающую среду [2].

Основные проблемы связаны с обслуживанием и лечением животных. Постоянное нахождение коров в одном помещении, отсутствие активного движения вызывают стрессы, заболевания и, как следствие, сокращение периода эффективного использования животных в пределах 2,5-3 лактаций, а также необходимость содержания большого количества ремонтного поголовья [3]. К тому же стремление к максимально высоким годовым надоям (12-13 тыс. л) также сокращает сроки хозяйственного использования животных. Основные факторы выбраковки: заболеваемость животных маститом (до 30-35%), болезни копыт (до 30-35%), репродуктивных органов и др. Отсюда возникает необходимость использовать щадящие способы обслуживания животных, создавать комфортную среду обитания (микроклимат, навозоудаление, удобные боксы для содержания), сокращать время ожидания при доении, кормлении, зооветеринарном обслуживании, родовспоможении и др. [4].

При этом важно минимизировать траектории перемещения материальных потоков и животных к кормовому столу, автопоилкам и доильному залу, обе-

спечить постоянную доступность корма на кормовом столе, чистоту и сухость стойл (наличие подстилки), кратность и полноту уборки навозных каналов [5]. При расположении в моноблочном коровнике разных половозрастных групп следует позаботиться о дифференцированном микроклимате в одном помещении [6]. Кратчайшее расстояние между хранилищами и фермой, а в случае их совместного размещения «ферма – хранилище» или «ферма – кормокухня» с быстрым подвозом кормов, дают возможность использовать электрифицированные раздатчики ограниченной мобильности без выезда с территории фермы, что позволит повысить кратность обслуживания и гигиену кормления животных.

Такие проекты уже начинают реализовывать с использованием доильных роботов, систем автоматического кормления в виде кормовагонов подвешенного типа или наземных управляемых кормораздатчиков по типу *Vector* фирмы *Lely*, что исключает раздачу «с колес» кормомиксером и возможное при этом загрязнение кормового стола [7].

Цель исследования – разработать методологию модульного построения расширенного типоразмерного ряда автоматизированных и роботизированных животноводческих ферм нового поколения с единой функционально-логистической инфраструктурой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Перечислим основные критерии и показатели «умной» фермы:

- минимальные затраты корма на единицу продукции ($K_{\text{корм}}$, кг/кг);
- минимальный расход энергии на единицу продукции ($\Delta_{\text{пр}}$, кДж/кг) [8];
- оптимальная капиталоёмкость оборудования и инженерных сооружений на 1 скотоместо ($K_{\text{об}}$, тыс. руб./гол.);

- минимальная себестоимость литра молока при его высоком качестве ($C_{пр}$, руб./л) [9];
- минимальная выбраковка и оптимальное продуктивное долголетие молочного скота – не менее 4-5 лактаций ($L_{ж}$, лакт.);
- эффективное интеллектуализированное управление технологическими процессами и материальными потоками с минимальными их потерями, обеспечивающими оптимальную кратность обслуживания животных ($IУ_{тп}$);
- максимальное использование генетического потенциала ($ГП_{ж}$);
- минимальные трудозатраты на единицу продукции ($Z_{тр}$, чел.ч);
- экологически безопасное воздействие на окружающую среду и расположенные поблизости населенные пункты ($Э_б$) [10];
- оптимальные размеры фермы, соответствующие размерам собственного кормопроизводства и земельного участка, обеспечивающего полную утилизацию навозной массы или ее глубокую переработку со сбором жидкой фракции в водоемы ($F_{опт}$, га) [11].

Таким образом, суммарный критериальный функционал фермы можно записать в следующем виде:

$$F_{\Phi \Sigma} = f(K_{корм}) + f(Э_{пр}) + f(K_{об}) + f(C_{пр}) + f(L_{ж}) + f(ГП_{ж}) + f(IУ_{тп}) + f(Z_{тр}) + f(F_{опт}) + f(Э_б), \quad (1)$$

где $f(K_{корм}) \dots f(Э_б)$ – соответствующие критериальные функционалы.

Изучение этих функционалов представляет решение отдельных задач, выполняемых в соответствии с общей задачей эффективного функционирования и управления сложной биотехнической системой (Ч-М-Ж) молочной фермы [12, 13].

При этом особое внимание следует уделить ключевым технологиям, обеспечивающим повышение продуктивности и комфорта содержания животных, сокращение их заболеваемости и выбраковки. Для этого необходимо:

- внедрить автоматизированное или роботизированное почетвертное доение, сокращающее заболеваемость животных маститом [14, 15];
- обеспечить минимальную продолжительность контакта навозной массы с копытами животных (использование щелевых полов с проталкиванием навоза и последующим удалением из помещения);
- предусмотреть многократную дозированную задачу корма и обслуживание кормового стола для полноценного кормления;
- создать дифференцированный микроклимат для содержания различных половозрастных групп животных [16];
- обеспечить активный моцион животных с выгульными дворами и прифермскими пастбищами;
- организовать эффективный контроль и обследование животных [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Рассмотрим примерную композицию технологических модулей автоматизированных и роботизированных молочных ферм с совмещенными хранилищами и кормокухнями (рис. 1, 2).

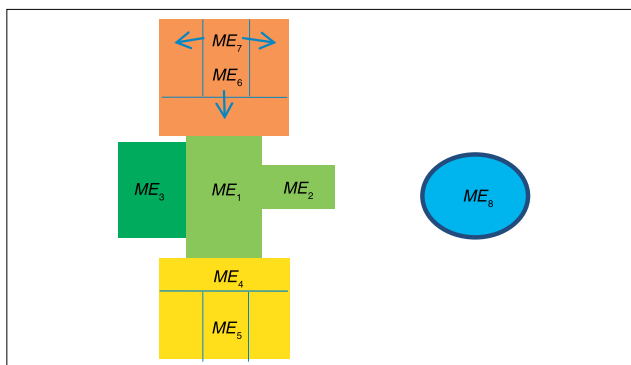


Рис. 1. Т-образная модульная « $M_1=M_T$ » ферма с одним коровником (ME_1) и доильно-молочным блоком (ME_2) на 25-50-100-200-300-400-500-600 голов; $ME_3 \dots ME_7$ – соответственно, модульные единицы выгульных площадок, кормоприготовительных отделений, секционных хранилищ кормов, площадок для ферментации навоза, секционных навозохранилищ и объектов водоснабжения; ME_8 – модульная единица водоснабжения

Fig. 1. T-shaped modular « $M_1=M_T$ » farm with one cowshed (ME_1) and a milking unit (ME_2) for (25-50-100-200-300-400-500-600) heads; $ME_3 \dots ME_7$ – respectively, modular units of paddock sites, feed preparation departments, sectional feed storages, manure fermentation sites, sectional manure storage facilities and water supply facilities; ME_8 – modular unit of water supply

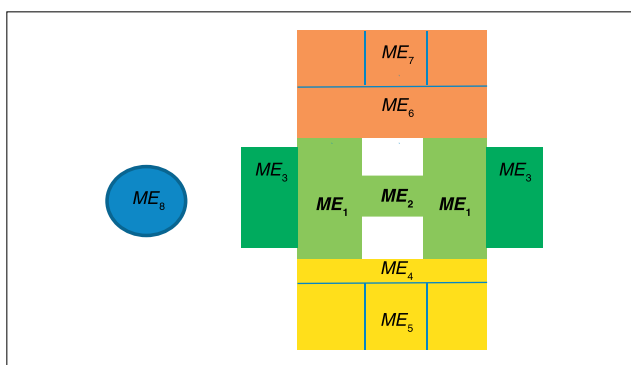


Рис. 2. H-образная « $M_2=M_H$ » ферма с двумя коровниками на 200-400-600-800-1000-1200 голов

Fig. 2. H-shaped « $M_2=M_H$ » farm with two cowsheds for (200-400-600-800-1000-1200) heads

Таким образом, примерные структурные формулы модульных молочных ферм различной вместимости и конфигурации могут быть записаны следующим образом:

$$M_T = ME_1 \wedge ME_2 \wedge ME_3 \wedge ME_4 \wedge ME_5 \wedge ME_6 \wedge ME_7 \wedge ME_8;$$

$$M_H = 2M_T = 2ME_1 \wedge 2ME_2 \wedge 2ME_3 \wedge ME_4 \wedge ME_5 \wedge ME_6 \wedge \wedge ME_7 \wedge ME_8, \quad (2)$$

где $ME_1 \dots ME_8$ – базовые модульные единицы структуры молочной фермы;

\wedge – оператор логического сложения.

Таким образом, произвольный типоразмер модульной фермы может быть записан в виде:

$$\begin{aligned} M_1 &= M_T; \\ M_2 &= 2M_1 = 2M_T = M_n; \\ M_3 &= 3M_1 = M_n + M_T = M_{ш}; \end{aligned} \quad (3)$$

$$M_n = nM_1 = M_{n-1} + M_1 \text{ (для любых значений } n\text{);}$$

$$M_n = nM_1 = (n-2)M_{n-2} \text{ (для четных } n \geq 2\text{).}$$

В соответствии с выражениями (3) для типоразмера $M_3 = M_{ш}$ (Ш-образной формы) будем иметь максимальное значение поголовья $3M_1 = 3 \cdot 600 = 1800$, а для типоразмера ($2M_n$) или $M_4 = 4M_1 = 4 \cdot 600 = 2400$, или $M_4 = (4-2)M_2 = 2 \cdot 1200 = 2400$ и т.д.

В приведенном примере расчета фермы взят максимальный размер модульной единицы $M_1 = 600$ гол., что следует считать пределом для строений с павильонной застройкой. Однако для моноблочных помещений он даже может быть увеличен до 1000-1200 гол. Это прежде всего касается мегаферм. С точки зрения снижения экологической нагрузки, оптимальным размером модульной единицы можно считать средний размер 400 гол. для сельхозорганизаций и 50-100 гол. для КФХ.

Примерные базовые типоразмеры молочных ферм включают 8 основных модульных единиц (рис. 1, 2):

- помещения для животных M_1 ;
- доильно-молочные блоки M_2 ;
- выгульные площадки (прифермские пастбища) M_3 ;
- площадки (кормокухни) для подготовки кормосмеси M_4 ;
- секционные кормохранилища траншейного или башенного типов M_5 , сблокированные с фермой;
- площадки с оборудованием для переработки навоза M_6 ;
- секционные навозохранилища траншейного или башенного типа для жидкой фракции или технической воды с системой рециркуляции после ее глубокой переработки M_7 ;
- объекты водоснабжения M_8 .

Такая компоновка, безусловно, может включать дополнительные модульные единицы, объединенные с вышеперечисленными. Здесь принципиально важным моментом остается компактная моноблочная компоновка основных технологических и инженерных сооружений, позволяющая реализовать принципы интеллектуализированного автоматизированного или роботизированного управления [18], минимальную протяженность подачи и отведения материальных потоков, уменьшение выбросов вредных газов и жидких отходов и соответствующее снижение нагрузки на окружающую среду.

Анализ биотехнических систем в животноводстве

позволяет разработать методы построения и компьютерного проектирования технологических модулей молочных ферм, основанных на модульных единицах технологического типа ME_1 (коровник, телятник и т.д.), ME_2 (доильно-молочный блок и др.) и др.

Модульные единицы могут включать индивидуальные KE_n и групповые KE_r конечные элементы: боксы, поилки, накопители животных и др. Создается библиотека «проволочных» каркасов поперечных сечений модульных единиц и, методом «выталкивания» с определенным шагом, формируется объемная 3D-модель. Групповые конечные элементы генерируются из индивидуальных конечных элементов, которые импортируются из соответствующей базы данных:

$$ME_{1\dots n} = \sum KE_n \wedge \sum KE_r, \quad (4)$$

где KE_n, KE_r – соответственно, индивидуальные и групповые конечные элементы.

Строительные конструкции аналогичным образом моделируются стержневыми и пластинчатыми элементами, проводится расчет силовых (ветровых, снеговых) и тепловых нагрузок, осуществляется альтернативный выбор строительных материалов из базы данных [19].

Реализация предлагаемых методов и моделей обеспечит создание специализированных программных продуктов (баз данных и компьютерных программ) для адресного ускоренного (в 3-4 раза) технологического и «строительного» проектирования животноводческих объектов в вариантном исполнении (рис. 3) [20].

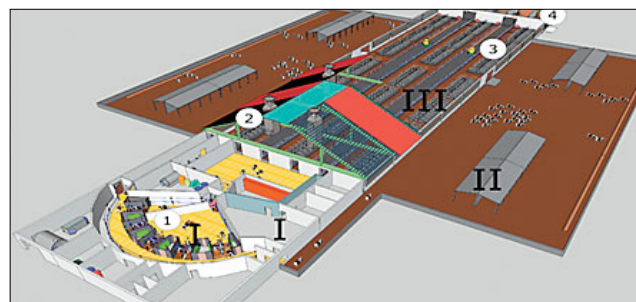


Рис. 3. Концепт-модель роботизированной молочной фермы на 400 голов: I – доильный блок; II – выгульная площадка; III – помещение для содержания молочных коров; 1 – роботизированный доильный зал «Веер» на 10 станкомест; 2 – автоматизированный модуль микроклимата; 3 – роботизированный кормораздатчик; 4 – роботизированная площадка для заготовки кормосмеси

Fig. 3. Concept model of a 400-head robotic dairy farm: I – milking block; II – walking area; III – room for keeping dairy cows; 1 – robotic milking parlor «Veer» for 10 stalls; 2 – automated microclimate module; 3 – robotic feed dispenser; 4 – robotic platform for feed mixture preparation

Выводы. Разработанные методы, модели и компоновочные схемы позволяют проектировать новые автоматизированные и роботизированные и рекон-

структурировать существующие механизированные фермы любых форм и типоразмеров в оптимальные сроки. Их достоинства:

- щадящее воздействие на биологические объекты и окружающую среду;

- единая функционально-логистическая инфраструктура, обеспечивающая оптимальную капиталоемкость строительных и инженерных конструкций и технологического оборудования;

- минимальные количество накопительно-регулирующих емкостей и протяженность перемещения материальных потоков;

- комфортное содержание;
- эффективное многократное кормление;
- переработка отходов;
- высокое качество продукции.

Все это в конечном итоге обеспечивает повышение уровня цифровизации и автоматизации производства, продуктивного долголетия животных, рентабельности молочного животноводства, способствует стабилизации работы отрасли в целом, созданию высококвалифицированных рабочих мест операторов-программистов технологического оборудования и систем управления технологическими процессами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Измайлов А.Ю., Цой Ю.А., Кирсанов В.В. Технологические основы алгоритмизации и цифрового управления процессами молочных ферм: Монография. М.: ИНФРА. 2019. 208 с.
- Попов В.Д., Ерохин М.Н., Брюханов А.Ю., Васильев Э.В., Шалавина Е.В. Перспективы создания экологических центров промышленной переработки органических отходов животноводства // *Агроинженерия*. 2020. N3(97). С. 4-11.
- Stojkov J., von Keyserlingk M.A.G., Duffield T. Fitness for transport of cull dairy cows at livestock markets. *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. Iss. 3. 2650-2661.
- Chernoivanov V., Katkov A., Gabitov I., Yukhin G., Martynov V., Khasanov E., Mudarisov S., Baltikov D., Khammatov R., Kovalev P. Technical equipment of farms for comfortable cow keeping in winter conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 25. N2. 45-53.
- Ерохин М.Н., Кирсанов В.В., Цой Ю.А., Казанцев С.П. Структурно-технологическое моделирование процессов и функциональных систем в молочном скотоводстве // *Научные труды ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии*. 2007. Т. 17. N1. С. 19-31.
- Новиков Н.Н., Кольчик И.Е. Современное оборудование и технические средства обеспечения микроклимата на животноводческих фермах // *Техника и технологии в животноводстве*. 2020. N1(37). С. 81-88.
- Купреенко А.И., Исаев Х.М., Михайличенко С.М. Технологическая линия приготовления и раздачи кормосмесей на базе автоматического кормового вагона // *Сельский механизатор*. 2020. N1. С. 14-15.
- Tikhomirov D., Izmailov A., Lobachevsky Ya., Tikhomirov A. Energy consumption optimization in agriculture and development perspectives. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2020. Vol. 9. N4. С. 1-19
- Kilcawley K.N., Faulkner, H., Clarke, H.J., O'Sullivan, M.G., Kerry, J.P. Factors influencing the flavour of bovine milk and cheese from grass based versus non-grass based milk production systems. *Foods*. 2018. N7(3). E37.
- McDermoot A., Visentin G., McParland S., Berry D.P., Fenelon M.A., De Marchi M. Effectiveness of midinfrared spectroscopy to predict the color of bovine milk and the relationship between milk color and traditional milk quality traits. *Journal of Dairy Science*. 2016. N99(5). 3267-3273.
- Иванов Ю.А., Скоркин В.К., Аксенова В.П. Оптимизация и модернизация технологических процессов молочных ферм // *Международный технико-экономический журнал*. 2020. N4. С. 7-15.
- Попечителей Е.П. Проблемы синтеза биотехнических систем // *Научное обозрение. Технические науки*. 2016. N2. С. 54-62
- Чернованов В.И. Биомашсистемы: возникновение, развитие и перспективы // *Биомашсистемы*. 2017. Т. 1. N1. С. 7-58.
- Durmaz U., Ozdemir M., Pehlivan H. An experimental investigation into heat transfer in milk cooling vessels. *Scientia Iranica B*. 2018. N25(3). 1258-1265.
- Hogenboom J.A., Pellegrino L., Sandrucci A. Invited review: Hygienic quality, composition, and technological performance of raw milk obtained by robotic milking of cows. *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 9. 7640-7654.
- Jovović V., Pandurević T., Važić B., Erbez M. Microclimate parameters and ventilation inside the barns in the lowland region of Bosnia and Herzegovina. *Journal of Animal Science of BiH*. 2019. Vol. 1. N2. 14-18.
- Морозов Н.М. Инновационная техника и технологии в животноводстве // *Экономика сельского хозяйства России*. 2020. N2. С. 2-8.
- Ju C., Son H. I. Modeling and control of heterogeneous agricultural field robots based on Ramadge – Wonham theory. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2019. Vol. 5. N1. 48-55.
- Замрий А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде APM Structure 3D. М.: АПИМ. 2006. 288 с.
- Mahalakshmi J., Kuppusamy K., Kaleeswari C., Maheswari P. IoT Sensor-Based Smart Agricultural System. Emerging Technologies for Agriculture and Environment. Singapore. Springer. 2020. 39-52.

REFERENCES

- Izmaylov A.Yu., Tsoy Yu.A., Kirsanov V.V. Tekhnologicheskie osnovy algoritmizatsii i tsifrovogo upravleniya protsessami molochnykh ferm: Monografiya [Algorithmization of technological foundations and digital control of dairy farm



- processes: Monograph]. Moscow: INFRA. 2019. 208 (In Russian).
2. Popov V.D., Erokhin M.N., Bryukhanov A.Yu., Vasil'ev E.V., Shalavina E.V. Perspektivy sozdaniya ekologicheskikh tsentrov promyshlennoy pererabotki organicheskikh otkhodov zhitovnovodstva [Prospects of establishing ecological centers for industrial processing of organic animal waste]. *Agroinzheneriya*. 2020. N3(97). 4-11 (In Russian).
 3. Stojkov J., von Keyserlingk M.A.G., Duffield T. Fitness for transport of cull dairy cows at livestock markets. *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103. N3. 2650-2661 (In English)
 4. Chernouvanov V., Katkov A., Gabitov I., Yukhin G., Martynov V., Khasanov E., Mudarisov S., Baltikov D., Khammatov R., Kovalev P. Technical equipment of farms for comfortable cow keeping in winter conditions. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2019. Vol. 25. N2. 45-53 (In English)
 5. Erokhin M.N., Kirsanov V.V., Tsoy Yu.A., Kazantsev S.P. Strukturno-tekhnologicheskoe modelirovanie protsessov i funktsional'nykh sistem v molochnom skotovodstve [Structural and technological modeling of processes and functional systems in dairy farming]. *Nauchnye trudy GNU VNIIMZh Rosselkhozakademii*. 2007. Vol. 17. N1. 19-31 (In Russian)
 6. Novikov N.N., Kol'chik I.E. Sovremennoe oborudovanie i tekhnicheskie sredstva obespecheniya mikroklimate na zhitovnovodcheskikh fermakh [The modern equipment and technical means of microclimate on livestock farms providing]. *Tekhnika i tekhnologii v zhitovnovodstve*. 2020. N1(37). 81-88 (In Russian)
 7. Kupreenko A.I., Isaev Kh.M., Mikhaylichenko S.M. Tekhnologicheskaya liniya prigotovleniya i razdachi kormosmesey na baze avtomaticheskogo kormovogo vagona [Technological line for preparation and distribution of feed mixtures based on an automatic feed car]. *Sel'skiy mekhanizator*. 2020. N1. 14-15 (In Russian).
 8. Tikhomirov D., Izmailov A., Lobachevsky Ya., Tikhomirov A. Energy consumption optimization in agriculture and development perspectives. *International Journal of Energy Optimization and Engineering*. 2020. Vol. 9. N4. 1-19 (In English).
 9. Kilcawley K.N., Faulkner H., Clarke H.J., O'Sullivan M.G., Kerry J.P. Factors influencing the flavour of bovine milk and cheese from grass based versus non-grass based milk production systems. *Foods*. 2018. N7(3). E37 (In English).
 10. McDermoot A., Visentin G., McParland S., Berry D.P., Felon M.A., De Marchi M. Effectiveness of midinfrared spectroscopy to predict the color of bovine milk and the relationship between milk color and traditional milk quality traits. *Journal of Dairy Science*. 2016. N99(5). 3267-3273 (In English).
 11. Ivanov Yu.A., Skorkin V.K., Aksenova V.P. Optimizatsiya i modernizatsiya tekhnologicheskikh protsessov molochnykh ferm [Optimization and modernization of dairy farms' technological processes]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskij zhurnal*. 2020. N4. 7-15 (In Russian).
 12. Pepochitelev E.P. Problemy sinteza biotekhnicheskikh sistem. Nauchnoe obozrenie [Synthesis problem biotechnical systems]. *Tekhnicheskie nauki*. 2016. N2. 54-62 (In Russian).
 13. Chernouvanov V.I. Biomashsistemy: vzniknovenie, razvitiye i perspektivy [Biomach systems: emergence, development and prospects]. *Biomashsistemy*. 2017. Vol. 1. N1. 7-58 (In Russian).
 14. Durmaz U., Ozdemir M., Pehlivan H. An experimental investigation into heat transfer in milk cooling vessels. *Scientia Iranica B*. 2018. N25(3). 1258-1265 (In English).
 15. Hogenboom J.A., Pellegrino L., Sandrucci A. Invited review: Hygienic quality, composition, and technological performance of raw milk obtained by robotic milking of cows. *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 9. 7640-7654 (In English).
 16. Jovović V., Pandurević T., Važić B., Erbez M. Microclimate parameters and ventilation inside the barns in the lowland region of Bosnia and Herzegovina. *Journal of Animal Science of BIH*. 2019. Vol. 1. N2. 14-18 (In English).
 17. Morozov N.M. Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologii v zhitovnovodstve [Innovative techniques and technologies in livestock]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2020. N2. 2-8 (In Russian).
 18. Ju C., Son H.I. Modeling and control of heterogeneous agricultural field robots based on Ramadge – Wonham theory. *IEEE Robotics and Automation Letters*. 2019. Vol. 5. N1. 48-55 (In English).
 19. Zamriy A.A. Proektirovanie i raschet metodom konechnykh elementov trekhmernykh konstruksiy v srede APM Structure 3D [Design and calculation by the finite element method of three-dimensional structures in the APM Structure 3D environment]. Moscow: APM. 2006. 288 (In Russian).
 20. Mahalakshmi J., Kuppusamy K., Kaleeswari C., Maheswari P. IoT Sensor-Based Smart Agricultural System. Emerging Technologies for Agriculture and Environment. Singapore. Springer. 2020. 39-52 (In English).

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. Автор прочитал и одобрил окончательный вариант.

Conflict of interest

The author declares no conflict of interest. The author read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

02.12.2021
14.01.2022