

Разработка и использование моделей биотехнологических систем в прикладных научных исследованиях

Мухтар Ахмиевич Керимов,
доктор технических наук, профессор,
e-mail: martan-rs@yandex.ru

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Санкт-Петербург, Российская Федерация

Реферат. Отметим сложности функционирования многопараметрических систем вследствие разной природы связей их звеньев. Рассмотрен частный случай биотехнологической системы «оператор-машина-животное», реализуемой в операциях машинного доения. Она включает в себя три подсистемы: две имеют биологическую природу и являются вероятностными, а доильная установка – звено неживой природы следует рассматривать как детерминированную техническую подсистему. *(Цель исследования)* Обосновать концептуальный подход к функционированию биотехнической системы «оператор-машина-животное» с учетом закономерностей взаимодействия подсистем. *(Материалы и методы)* Изучили условия функционирования биотехнических систем, которые носят случайный характер (в вероятностно-статистическом смысле). Установили, что факторов, влияющих на процесс функционирования таких систем, значительно больше, чем на «человеко-машинную» систему. Биотехническая система в целом остается стохастической, а алгоритмы ее управления носят вероятностный характер. Исследования проводили путем оценки результатов, полученных при статистической обработке экспериментальной информации, применения методов и методик математического моделирования технологических процессов, изучения основных направлений создания интеллектуальных цифровых технологий. *(Результаты и обсуждение)* Применение концепции адаптивного управления обеспечивает гарантированное достижение конечных целей с высокой вероятностью. Разработали модель функционирования системы «оператор-машина-животное». Обоснование эффективности взаимодействия подсистем «машина» и «животное» выполнено на примере аппарата линейного доения *DeLavalTM DelPro MU480*. Разработали структурную схему системы управления «оператор-машина». Провели оценку эффективности оператора машинного доения. Описали математическую модель ошибок, допускаемых оператором. Предложили критерии, характеризующие эксплуатационную надежность системы «оператор-машина». *(Выводы)* Границы эффективности многосвязной биотехнической системы определяются зоной адаптационного максимума. Представлена математическая модель, описывающая производительность оператора машинного доения. Профессиональная устойчивость оператора как адаптивного, стохастического звена зависит от индивидуальных особенностей и условий труда, которые целесообразно оценивать статистически. В качестве перспективного направления исследований указана адаптационная концепция. Инженерные решения в отношении процесса доения коров должны базироваться на практических знаниях этологии животных, формализованных в виде логико-лингвистических моделей.

Ключевые слова: системный анализ, моделирование, биотехническая система, функционирование, животноводство, линейная доильная установка, технологическая надежность, адаптационная концепция.

■ **Для цитирования:** Керимов М.А. Разработка и использование моделей биотехнологических систем в прикладных научных исследованиях // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. №4. С. 19-25. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-19-25. EDN: UZRJUA.

Development and Use of Biotechnological System Models in Applied Scientific Research

Mukhtar A. Kerimov,
Dr.Sc.(Eng.), professor,
e-mail: martan-rs@yandex.ru

Saint-Petersburg State Agrarian University, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract. The paper highlights the difficulties of functioning in multi-parameter systems due to the diverse nature of their link connections. The paper examines a specific case of an «operator-machine-animal» biotechnological system employed in

the context of machine milking operations. The system includes three subsystems: two of them have a biological nature and exhibit probabilistic behavior, while the milking machine, serving as a connecting element with inanimate characteristics, is to be regarded as a deterministic technical subsystem. (*Research purpose*) The research aims to substantiate the conceptual approach to the functioning of an «operator-machine-animal» biotechnical system, taking into account the subsystem interaction patterns. (*Materials and methods*) The paper explores the conditions governing the operation of biotechnical systems characterized by inherent randomness (in the probabilistic-statistical sense). It was determined that the operation of such a system is influenced by a significantly greater number of factors compared to the «man-machine» system. The biotechnical system as a whole remains stochastic, while its control algorithms maintain a probabilistic nature. The study was conducted by assessing the results obtained through statistical analysis of experimental data, employing methods and techniques of mathematical modeling for technological processes, and exploring key avenues for the development of intelligent digital technologies. (*Results and discussion*) The utilization of adaptive control principles ensures a high probability of successfully attaining the ultimate objectives. A model for an «operator-machine-animal» system functioning has been developed. The rationale for the efficacy of the interaction between the «machine» and «animal» subsystems is illustrated through the case study of the DeLaval™ DelPro MU480 linear milking machine. A block scheme for the «operator-machine» control system was developed. The performance of the machine milking operator was assessed. A mathematical model detailing the operator's errors was outlined. Criteria for ensuring the operational reliability of the «operator-machine» system were introduced. (*Conclusions*) The efficiency of a multiply connected biotechnical system is constrained by the zone of maximum adaptation. A mathematical model is provided to describe the functioning of a machine milking operator. The professional stability of an operator, acting as an adaptive and stochastic component, depends on individual attributes and working conditions that need statistical evaluation. The adaptation concept is indicated as a promising area of research. Engineering decisions about the cow milking process are to be based on practical insights into animal ethology, formalized through logical-linguistic models.

Keywords: system analysis, modeling, biotechnological system, functioning, animal husbandry, linear milking machine, technological reliability, adaptive concept.

■ **For citation:** Kerimov M.A. Razrabotka i ispol'zovanie modeley biotekhnologicheskikh sistem v prikladnykh nauchnykh issledovaniyakh [Development and use of biotechnological system models in applied scientific research]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2023. Vol. 17. N4. 19-25 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-4-19-25. EDN: UZRJUA.

На крупных молочно-товарных комплексах с современной машинной технологией и поточно-производства возникает необходимость применения автоматизированных систем управления, позволяющих наиболее полно и эффективно использовать оборудование, повысить продуктивность молочного стада, улучшить условия труда. Однако качество функционирования таких систем ввиду их многообразия часто ниже потенциально возможного уровня.

Методы моделирования в агроинженерных приложениях стали использоваться с началом разработки основных положений статистической земледельческой механики и формирования концепции поточно-технологических линий в животноводстве [1]. Широкое применение получили модели, базирующиеся как на аналитических соотношениях, так и на имитационных алгоритмах.

Задачи, связанные с оптимизацией сложных систем, характеризуются многокритериальностью, динамичностью, асинхронностью процессов, вызванной отказами подсистем и вероятностной природой условий функционирования. Особенности сложных систем, прежде всего биотехнических, требуют использования разнообразных методов и средств моделирования как при определении качества и эффектив-

ности существующих систем, так и при разработке их новых вариантов [2].

На конструктивном уровне до конца не решена проблема формального описания сложных систем и процессов их функционирования в динамически изменяющейся обстановке. В связи с этим обоснование направлений повышения эффективности машинных технологий в животноводстве представляет актуальную научно-техническую задачу [3].

Цель исследования – обоснование концептуального подхода к функционированию биотехнической системы «оператор-машина-животное» («О-М-Ж») с учетом закономерностей взаимодействия ее подсистем, определение между ними оптимальных связей.

Материалы и методы. Производственный процесс доения коров рассматривается в виде стохастической биотехнической системы, функционирующей в изменяющейся обстановке. Модель ее функционирования представлена на *рисунке 1*.

Структура системы характеризуется неодинаковой природой связей, возникающих между технической («машина») и биологическими («оператор», «животное») подсистемами. Получение высокой продуктивности обусловлено управляемостью процессов, формализованных в виде стандартов машинного доения [4].

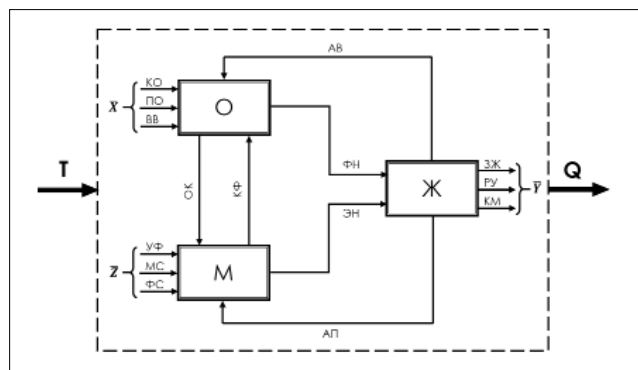


Рис. 1. Модель функционирования биотехнической системы «О-М-Ж»: T – машинная технология доения коров; Q – показатель качества; $\bar{X}$ – вектор-функция факторов, характеризующих профессиональную устойчивость оператора; KO – квалификация оператора; PO – производительность оператора; BB – внешние воздействия; OK – оперативный контроль технологического процесса; ΦH – функциональная надежность оператора; $\bar{Z}$ – вектор-функция входных воздействий на доильную установку (объект управления); $УФ$ – условия функционирования доильной установки; MC – морфологическая структурность качества доильной установки; ΦC – функциональная структурность качества установки; $K\Phi$ – качество функционирования установки (объекта управления); $\bar{ЭH}$ – эксплуатационная надежность доильной установки; $\bar{Y}$ – вектор-функция выходных параметров; $ЗЖ$ – здоровье животного; PY – продуктивность (разовый удой); KM – качество молока; AB – адаптационные возможности организма животного (приспособленность к машинному доению); $АП$ – анатомоморфологические показатели животного

Fig. 1. Diagram for the functioning an «operator-machine-animal» biotechnological system: T – the cow milking machine technology; Q – quality indicator; $\bar{X}$ – a vector-valued function representing factors that characterize the operator's professional stability; KO – the operator's qualification; PO – the operator's productivity; BB – external influences; OK – operational management of the technological process; ΦH – the operator's functional reliability; $\bar{Z}$ – a vector-valued function representing input actions applied to the milking machine (control object); $УФ$ – the milking machine operation conditions; MC – the morphological structure of the milking machine quality; ΦC – the functional structure of the milking machine quality; $K\Phi$ – the quality the milking machine functioning (object of control); $\bar{ЭH}$ – the milking machine operational reliability; $\bar{Y}$ – a vector-valued function representing the output parameters; $ЗЖ$ – the animal health; PY – productivity (one-time milk yield); KM – milk quality; AB – adaptive capabilities of the animal's body (adaptability to machine milking); $АП$ – the animal's anatomical and morphological characteristics

Особую роль играют биологические факторы, поскольку организм животных может приспособиться к условиям рабочей среды, но в определенной степени. Физиологическое равновесие системы сохраняется до тех пор, пока действие внешних раздражителей не превышает адаптационные возможности организма животного.

Эффективное функционирование системы «О-М-Ж» обусловлено взаимосвязями между оператором и средой воздействия, к которой относятся доильная установка, животное, а также получаемая продукция. При возникновении отказов в технической подсистеме у оператора есть возможность устранить последствия, целенаправленно воздействуя на животное.

Показателем качества Q функционирования системы является ее производительность, выраженная количеством выдоенного молока.

Производительность работы оператора, как резервирующего звена функций системы управления технологическим процессом доения, зависит от индивидуальных качеств (квалификации, психофизиологических особенностей) и условий труда (своевременности предоставления информации об отказе функции, загруженности другими обязанностями, наличия временного резервирования для выполнения анализируемой функции). Основное требование, предъявляемое к работе дояра, – оперативность, критериями которой являются время восприятия, оценка ситуации и принятие решения.

Принятие решения, как правило, должно опираться на информацию прогностического характера. В сферу оперативного контроля вовлекаются различные факторы, отслеживание которых предъявляет повышенные требования к точности и достоверности получаемой информации [5]. Основные задачи оперативного контроля – идентификация состояний доильной установки и принятие решения о ее дальнейшей эксплуатации по мере оценки ключевых параметров (здоровье животного – $ЗЖ$, разовый удой – PY , качественные показатели молока – KM) и вычисления показателя качества функционирования системы Q [2, 6].

Надежность системы «О-М-Ж» определяется состоянием доильного оборудования, технологией доения, анатомоморфологическими показателями животного. Производственный процесс доения как система вероятностного характера может отклоняться в ту или иную сторону. Поэтому всегда нужно принимать соответствующие меры, чтобы отклонения не превышали регламентированные технологические границы.

Технологические допуски в этом случае устанавливаются исходя из зоотехнических требований. Согласно ГОСТ 28545-90 «Установки доильные. Конструкция и техническая характеристика» (ISO 5707:83 «Milking machine installations – Construction and performance») доильная установка должна функционировать в строгом соответствии с моделью молокоотдачи. Продолжительность операций от надевания доильных стаканов до начала максимальной молокоотдачи составляет 30 секунд. Период максимальной молокоотдачи при скорости потока молока 5 л/мин занимает 120 секунд [6, 7].

Правильность выполнения технологических процессов обусловлена функциональной надежностью оператора и эксплуатационной надежностью доильной установки. Выходными показателями эффективности системы «О-М-Ж» служат здоровье и продуктивность коров, жирность и качественные показатели молока, в конечном итоге – производительность труда.

Метод имитационного моделирования позволяет путем изменения входных и выходных управляемых параметров в пределах имеющихся ресурсов и прогнозирования «поведения» рабочей среды получать достоверные данные для выбора стратегии повышения эффективности производственных систем [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. При исследовании биотехнической системы как объекта управления необходимо учитывать ее характерные особенности. Важнейшая особенность состоит в том, что система способна выполнять конкретные функции, с одной стороны, а с другой, – несет в себе определенную сумму затрат (издержек). Следовательно, с позиций качества функционирования систему необходимо оценивать по уровню технологической надежности и показателям экономической эффективности.

Модель системы с учетом максимального экономического эффекта:

$$G_i(R) = \Xi_i(R) - \mathcal{Z}_i(R) \rightarrow \max, \quad (1)$$

где R – показатель технологической надежности системы, зависящий от выбранного i -го варианта ($i = 1, n$);

$\Xi_i(R)$ – показатель экономического эффекта от применения i -го варианта системы (объекта) при уровне технологической надежности R ;

$\mathcal{Z}_i(R)$ – затраты на обеспечение заданного уровня технологической надежности R .

Для каждого варианта системы оптимальное решение находят из условия:

$$\frac{\delta \Xi_i(R)}{\delta(R)} = \frac{\delta \mathcal{Z}_i(R)}{\delta(R)}. \quad (2)$$

Технологические показатели эффективности системы отражают изменение количества и качества производимой продукции вследствие применения средств оперативного контроля и управления технологическим процессом. Показатели, которые характеризуют экономический эффект, учитываются в единицах, определяющих степень соответствия затрат на автоматизацию биотехнической системы результатам ее функционирования.

Эффективность взаимодействия подсистем «машина» и «животное» исследована на примере доения коров с применением аппарата линейного типа *DeLaval™ DelPro MU480* (рис. 2).

Аппарат сконструирован таким образом, что в автоматическом режиме его рабочие параметры (подача вакуума) согласуются с параметрами молокоотдачи (скорость доения), поведенческими и физиологическими



Рис. 2. Доильный аппарат *DeLaval™ DelPro MU480*

Fig. 2. *DeLaval™ DelPro MU480* milking machine

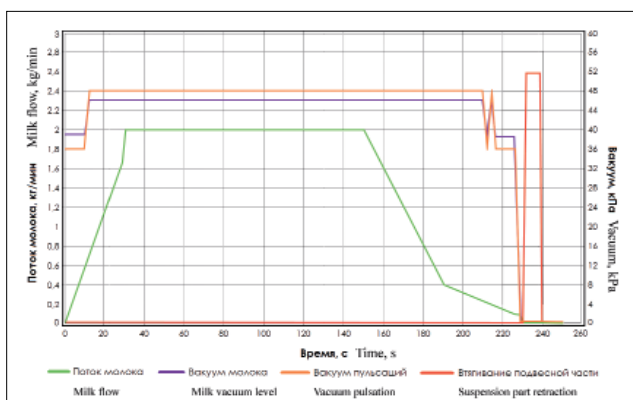


Рис. 3. Алгоритм функционирования автоматического доильного аппарата *DeLaval™ DelPro MU480*

Fig. 3. Functioning algorithm of *DeLaval™ DelPro MU480* automatic milking machine

ческими (рефлекс молокоотдачи) особенностями животных. Благодаря этому «сухое» доение, следовательно, риск возникновения мастита исключены. Схема процесса доения, изменения уровней вакуума молока и молокоотдачи показана на рисунке 3.

В начале доения вакуум молока и вакуум пульсации не максимальные. Поток молока также увеличивается постепенно, что смягчает режим доения. Далее аппарат выходит на уровень максимальной продуктивности, когда поток молока, вакуум пульсации и вакуум молока наибольшие. Затем поток молока уменьшается, вакуум пульсации и вакуум молока резко падает. В конце происходит скачок вакуума до максимума и до нуля. Только после прекращения доения подвесная часть аппарата вытягивается, уровень вакуума достигает максимума, задерживается на 30 секунд и снова падает до нуля.

Профессиональная устойчивость оператора, как было указано выше, зависит от его индивидуальных особенностей и условий труда, которые целесообразно оценивать статистически. Условия труда изменяются случайным образом (в вероятностно-статисти-

ческом смысле). Такая постановка задачи позволяет определить количественные характеристики профессиональной устойчивости оператора [9, 10].

Производительность оператора рассматривается как случайная функция вектора внешнего воздействия B . Ограничимся рассмотрением возможных реализаций случайной функции $B(x)$ линейными функциями. В первом приближении зависимость между случайными величинами можно записать:

$$B = B_0 + U \cdot \Delta X, \quad (3)$$

где B_0 – производительность при неслучайном стандартном внешнем воздействии (является случайной величиной);

U – коэффициент, характеризующий изменение производительности при единичном изменении внешнего воздействия в точке $x = x_0$, является случайной величиной, которую будем интерпретировать как «чувствительность к внешнему воздействию»;

ΔX – случайная величина, рассматривается как отклонение внешнего воздействия от стандартного.

Математическое ожидание производительности:

$$\begin{aligned} m_b &= m_{b_0} + m_u \cdot m_{\Delta X}, \\ \delta_b^2 &= \delta_{b_0}^2 + (\delta_x^2 + m_{\Delta X}^2) \cdot \delta_u^2 + \\ &+ m_u^2 \cdot \delta_x^2 + 2m_{\Delta X} \cdot R_{b_0 u}, \end{aligned} \quad (4)$$

где m_{b_0} и $\delta_{b_0}^2$ – математическое ожидание стандартной производительности;

m_u и δ_u^2 – математическое ожидание дисперсия чувствительности к внешнему воздействию;

$R_{b_0 u}$ – момент связи случайных величин B_0 и U ;

δ_x^2 – дисперсия отклонения внешнего воздействия от стандартного значения.

Возможное значение производительности b_0 ограничено нижним пределом допустимого интервала. К выполнению функций оператора допускаются работники, для которых значение производительности больше некоторой границы b_1 . Кроме того, существует верхняя граница b_2 , обусловленная физиологическими возможностями человека (оператора).

Поэтому на практике необходимо рассматривать усеченное нормальное распределение производительности:

$$\bar{f}(b_0) = cf(b_0) = \frac{c}{\delta_{b_0} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(b_0 - m_{b_0})^2}{2\delta_{b_0}^2} \right], \quad (5)$$

где m_{b_0} – среднее значение;

δ_{b_0} – среднее квадратическое отклонение производительности.

Нормирующий множитель c учитывает усеченность распределения, его можно определить из условия, что площадь под кривой распределения равна единице:

$$c \int_{b_1}^{b_2} f(b_0) db_0 = 1. \quad (6)$$

Таким образом, производительность оператора машинного доения можно приблизительно охарактеризовать: средним значением m_{b_0} , среднее квадратическим отклонением δ_{b_0} , математическим ожиданием чувствительности к внешнему воздействию m_u , среднее квадратическим отклонением чувствительности к внешнему воздействию δ_u , моментной функцией связи случайных величин B_0 и U , иногда величинами b_1 и b_2 .

Оператор (звено системы управления) выполняет функции измерителя рассогласования $\theta(t)$. Его задача удерживать разность между $X(t)$ и $Y(t)$ вблизи нулевого значения (рис. 4).

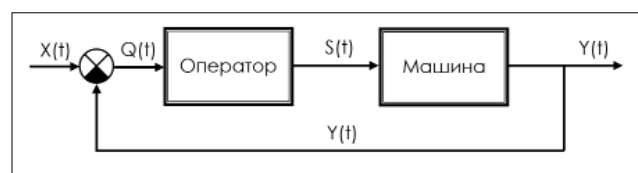


Рис. 4. Структурная схема системы управления «оператор-доильная машина»: $X(t)$ – вектор-функция внешних воздействий; $Y(t)$ – вектор-функция выходных величин объекта управления; $Q(t)$ – разность между $X(t)$ и $Y(t)$, т.е. рассогласование; $S(t)$ – выходная величина человека-оператора

Fig. 4. Structural diagram of an «operator-milking machine» control system: $X(t)$ – a vector-valued function representing factors that characterize external influences; $Y(t)$ – a vector-valued function representing the output values of the control object; $Q(t)$ – the difference between $X(t)$ and $Y(t)$, i.e. mismatch; $S(t)$ – the output value of the human operator

Основными критериями эффективности (производительности) функционирования системы «О-М», которые зависят от деятельности оператора, являются показатель безошибочности $R_{б_0}$ и показатель своевременности $R_{св}$ решения возникающих задач.

Показатель безошибочности оценивается вероятностью правильного решения задачи. В основе такой оценки лежит понятие «ошибка» (нарушение предписанного оператору алгоритма деятельности). По последствиям ошибки могут быть неаварийными и аварийными. Для рассматриваемой человеко-машинной системы, функционирующей в составе биотехнической системы «О-М-Ж», наиболее характерны неаварийные ошибки. Введение в рассмотрение указанных ошибок связано с возможностью самоконтроля оператором своих действий и их исправлением.

При оценке эффективности (расчете показателя своевременности) функционирования системы «О-М» представляется целесообразным учитывать суммарно время обнаружения ошибки и время исправления ошибочных действий оператора.

Показатель своевременности выражается зависимостью:

$$P_{св} = P\{\tau < T\} = \int_0^T f(\tau) d\tau, \quad (7)$$

где $f(\tau)$ – плотность распределения суммарного (с учетом ошибочных действий) времени решения задачи оператором;

T – время, отводимое на доение одной коровы.

Таким образом, оценка эффективности деятельности оператора в системе «О-М» осуществляется на основе двух показателей: вероятности безошибочной работы и вероятности своевременности функционирования системы.

Объективная оценка показателей и позволяет определить общую эффективность (эксплуатационную надежность) такой системы:

$$W_{\text{ом}} = P_{\text{бо}} \cdot P_{\text{св}}. \quad (8)$$

В качестве математической модели ошибок (аварийных и неаварийных), допускаемых оператором при функционировании системы «О-М», принято дискретное двумерное распределение вероятностей:

$$\begin{aligned} P_{nm} &= P_{nm}(r = n, k = m), \\ r &= 0, 1, 2, \dots, n; \\ k &= 0, 1, 2, \dots, m, \end{aligned} \quad (9)$$

где r – число неаварийных ошибок, допущенных оператором в том же цикле функционирования системы «О-М»;

k – число аварийных ошибок, допущенных оператором в том же цикле функционирования системы «О-М».

Выводы

• Человек-оператор представляет собой адаптивное, стохастическое, прогнозирующее, импульсное звено с запаздыванием. Способность экстраполировать и входной сигнал, и поведение управляемого объекта важна для выбора и оптимизации режимных параметров поточно-технологических линий.

• Чтобы использовать практические знания в области этологии сельскохозяйственных животных при принятии решений, необходимо их формализовать. На основе обобщенных логико-лингвистических моделей можно формализовать знания специалистов-животноводов в рассматриваемой предметной области. Формализованные знания допускают обобщение, оценку их адекватности, точности и объективности. Цифровые технологии базируются на формализованных знаниях.

• Многосвязная биотехническая система «оператор-машина-животное» в процессе функционирования должна находиться в зоне адаптационного максимума. Адаптационная концепция предусматривает достижение гарантированных результатов функционирования системы в условиях неопределенности исходной информации и динамически изменяющейся обстановки.

• Обеспечение технологической надежности сложных систем является частью более общей проблемы повышения эффективности их функционирования, причем уровень технологической надежности в значительной степени определяет эффективность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе // *Техника и оборудование для села*. 2019. N 6(264). С. 2-9. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8. EDN: HEVLDT.
2. Керимов М.А., Валге А.М. Оптимизация и принятие решений в агроинженерии. М.: Колос-с. 2021. 460 с. EDN: GOIVYS.
3. Мельников С.В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов. Л.: Агропромиздат. 1985. 640 с.
4. Кирсанов В.В., Цой Ю.А., Павкин Д.Ю. Разработка автоматизированного и роботизированного комплекса машин и оборудования с интеллектуальными цифровыми технологиями для развития молочного животноводства // *Техника и технологии в животноводстве*. 2022. N2(46). С. 24-31. DOI: 10.51794/27132064-2022-2-24. EDN: XJETVQ.
5. Петрова О.Г., Усевич В.М., Мильштейн И.М., Сибиряков М.М. Влияние цифровизации на развитие отечественного животноводства // *Экономика сельского хозяйства России*. 2020. N1. С. 48-54. DOI: 10.32651/201-48. EDN: BYOICG.
6. Морозов Н.М., Хусаинов И.И., Варфоломеев А.С. Эффек-
7. Бакач Н.Г., Башко Ю.А., Ступчик И.А. Техно-логические аспекты применения инновационных технологий на молочно-товарных фермах и комплексах Республики Беларусь // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2017. N4 (28). С. 108-116. EDN: UZMCVT.
8. Германович А.Г., Шайкин В.В., Шевченко Т.В., Горбунов В.С. Проблемы цифровой трансформации производства молока // *Московский экономический журнал*. 2022. Т. 7. N12. С. 22-25. DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_12_741. EDN: QORADL.
9. Кублин И.М., Найденов В.И., Ивер Н.Н. Проблемы и перспективы молочного животноводства: вектор инновационного развития // *Актуальные проблемы экономики и менеджмента*. 2022. N4 (36). С. 61-70. EDN: HRNOZJ.
10. Загидуллин Л.Р., Хисамов Р.Р., Шайдуллин Р.Р. Цифровизация молочного скотоводства на примере системы роботизированного доения // *Техника и технологии в животноводстве*. 2021. N4 (44). С. 17-22. DOI: 10.51794/27132064-2021-4-17. EDN: MWNKZG.

REFERENCES

1. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenov Yu.Kh. Razvitie intensivnykh mashinnykh tekhnologiy, robotizirovannoy tekhniki, effektivnogo energoobespecheniya i tsifrovyykh sistem v agropromyshlennom komplekse [Development of intensive machine technologies, robotic technology, efficient energy supply and digital systems in the agribusiness]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N6 (264). 2-9 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-2-8. EDN: HEVLDT.
2. Kerimov M.A., Valge A.M. Optimizatsiya i prinyatie resheniy v agroinzhenerii [Optimization and decision making in agricultural engineering]. Moscow: Kolos-s. 2021. 460 (In Russian). EDN: GOIVYS.
3. Mel'nikov S.V. Tekhnologicheskoe oborudovanie zhivotnovodcheskikh ferm i kompleksov [Technological equipment for livestock farms and complexes]. Leningrad: Agropromizdat. 1985. 640 (In Russian).
4. Kirsanov V.V., Tsoy Yu.A., Pavkin D.Yu. Razrabotka avtomatizirovannogo i robotizirovannogo kompleksa mashin i oborudovaniya s intellektual'nymi tsifrovymi tekhnologiyami dlya razvitiya molochnogo zhivotnovodstva [Design of automated and robotic machines' complex and intelligent digital technologies' equipment for dairy farming development]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve*. 2022. N2 (46). 24-31 (In Russian). DOI: 10.51794/27132064-2022-2-24. EDN: XJETVQ.
5. Petrova O.G., Usevich V.M., Mil'shteyn I.M., Sibiryakov M.M. Vliyaniye tsifrovizatsii na razvitie otechestvennogo zhivotnovodstva [Influence of digitalization on the development of domestic livestock production]. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii*. 2020. N1. 48-54 (In Russian). DOI: 10.32651/201-48. EDN: BYOICG.
6. Morozov N.M., Khusainov I.I., Varfolomeev A.S. Effektivnost' primeneniya robototekhnicheskikh sistem v zhivotnovodstve [The livestock robotic systems' using efficiency]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2019. N1(33). 57-62 (In Russian). EDN: ZAIRBJ.
7. Bakach N.G., Bashko Yu.A., Stupchik I.A. Tekhniko-tekhnologicheskie aspekty primeneniya innovatsionnykh tekhnologiy na molochno-tovarnykh fermakh i kompleksakh respubliki Belarus' [Technical and technological aspects of applying innovative technologies on dairy farms and complexes in the Republic of Belarus]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017. N4(28). 108-116 (In Russian). EDN: UZMCVT.
8. Germanovich A.G., Shaykin V.V., Shevchenko T.V., Gorbunov V.S. Problemy tsifrovoy transformatsii proizvodstva moloka [Problems of digital transformation of milk production]. *Moskovskiy ekonomicheskyy zhurnal*. 2022. Vol. 7. N12. 22-25 (In Russian). DOI: 10.55186/2413046X_2022_7_12_7_41. EDN: QORADL.
9. Kublin I.M., Naydenkov V.I., Iver N.N. Problemy i perspektivy molochnogo zhivotnovodstva: vektor innovatsionnogo razvitiya [Problems and prospects of dairy farming: the vector of innovative development]. *Aktual'nye problemy ekonomiki i menedzhmenta*. 2022. N4(36). 61-70 (In Russian). EDN: HRNOZJ.
10. Zagidullin L.R., Khisamov R.R., Shaydullin R.R. Tsifrovizatsiya molochnogo skotovodstva na primere sistemy robotizirovannogo doeniya [Digitization of dairy cattle breeding: the case of a robotic milking system]. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve*. 2021. N4 (44). 17-22 (In Russian). DOI: 10.51794/27132064-2021-4-17. EDN: MWNKZG.

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

03.07.2023
14.08.2023