

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.1:004.83

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-1-16-25>**Искусственный интеллект в управлении животноводческой фермой***А.С. Дорохов<sup>1</sup>, В.В. Кирсанов<sup>2</sup>, Р.А. Баишева<sup>3</sup>, С.В. Кирсанов<sup>4</sup>*<sup>1,2,3,4</sup>Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ; г. Москва, Россия<sup>1</sup> [dorokhov.vim@yandex.ru](mailto:dorokhov.vim@yandex.ru); <http://orcid.org/0000-0002-4758-3843><sup>2</sup> [kirvv2014@mail.ru](mailto:kirvv2014@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0003-2549-4070><sup>3</sup> [rozamamedova@mail.ru](mailto:rozamamedova@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0001-9145-4478><sup>4</sup> [kirseryii@mail.ru](mailto:kirseryii@mail.ru)

**Аннотация.** Внедрение интеллектуальных цифровых систем управления предполагает достижение высоких показателей производственной деятельности сельхозпредприятий. Схему управления животноводческой фермой целесообразно рассматривать с позиции теории биомашинистов, с детальным анализом функциональных связей между элементами сложной системы. Исследования проведены с целью обоснования структуры и функционала искусственного интеллекта для управления биомашинистой животноводческой фермы, представленной в виде неориентированного мультиграфа с вершинами элементов «Человек – Машина – Животное – Продукция – Окружающая среда» и функциональных связей между ними. В качестве объекта исследований рассмотрены технологические локальные биомашинисты доения и первичной обработки молока, приготовления и раздачи кормов, обеспечения микроклимата, навозоудаления, проанализированы их функциональные связи в виде ориентированного мультиграфа. Систематизированы функции искусственного интеллекта в указанных локальных биомашинистах животноводческой фермы. В качестве примера представлена структурно-функциональная схема взаимодействия локальных биомашинистов доения и кормления в режиме интернета вещей. Передача (обмен) сигналов между локальными биомашинистами без связи с «центром управления» (АРМ-специалистов) обуславливает их автономное функционирование и согласованное эффективное управление. Систематизация функций искусственного интеллекта поможет в дальнейшем разработать соответствующие телекоммуникационные интеллектуальные цифровые системы контроля качества работы операторов, машин и оборудования, физиологического состояния животных, управления экономикой и экологией предприятия в целом.

**Ключевые слова:** искусственный интеллект; биомашиниста; искусственный интеллект в управлении животноводческой фермой; интеллектуальные цифровые системы; неориентированный мультиграф; функции искусственного интеллекта

**Для цитирования:** Дорохов А.С., Кирсанов В.В., Баишева Р.А., Кирсанов С.В. Искусственный интеллект в управлении животноводческой фермой // Агроинженерия. 2026. Т. 28, № 1. С. 16-25. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-1-16-25>

## ORIGINAL ARTICLE

**Use of artificial intelligence for managing a livestock farm***A.S. Dorokhov<sup>1</sup>, V.V. Kirsanov<sup>2</sup>, R.A. Baisheva<sup>3</sup>, S.V. Kirsanov<sup>4</sup>*<sup>1,2,3,4</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; Moscow, Russia<sup>1</sup> [dorokhov.vim@yandex.ru](mailto:dorokhov.vim@yandex.ru); <http://orcid.org/0000-0002-4758-3843><sup>2</sup> [kirvv2014@mail.ru](mailto:kirvv2014@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0003-2549-4070><sup>3</sup> [rozamamedova@mail.ru](mailto:rozamamedova@mail.ru); <http://orcid.org/0000-0001-9145-4478><sup>4</sup> [kirseryii@mail.ru](mailto:kirseryii@mail.ru)

**Abstract.** The implementation of intelligent digital control systems is essential for achieving high performance in agricultural enterprises. The study applies the biomachine systems theory to livestock farm management to analyze the functional links between complex system components. The research justifies the structure and functionality of an artificial intelligence (AI) framework for managing livestock biomachine systems. In this model, the farm is represented as an undirected multigraph, where vertices represent

the “Human-Machine-Animal-Product-Environment” (H-M-A-P-E) elements and edges represent their functional interconnections. The study examines localized biotechnological systems – specifically milking and primary processing, feed preparation and distribution, microclimate control, and manure removal – analyzing their functional relationships through a directed multigraph. The authors categorize AI functions within these localized systems and provide a structural-functional diagram illustrating the interaction between milking and feeding systems within the Internet of Things (IoT) framework. The direct exchange of signals between these local systems, independent of a centralized “control center” (workstation), enables autonomous functioning and effective coordinated management. The systematization of AI functions presented here facilitates the development of intelligent telecommunication systems for monitoring operators’ performance, machine efficiency, physiological condition of animals, and the overall economic and environmental sustainability of the enterprise.

**Keywords:** artificial intelligence; biomachine system; artificial intelligence in livestock farm management; intelligent digital systems; undirected multigraph; artificial intelligence functions

**For citation:** Dorokhov A.S., Kirsanov V.V., Baisheva R.A., Kirsanov S.V. Use of artificial intelligence for managing a livestock farm. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2026;28(1):16-25 (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2026-1-16-25>

### Введение

Сельскохозяйственные предприятия активно внедряют передовые агротехнологии и интеллектуальные цифровые геоинформационные системы управления производством для достижения высоких показателей производственной деятельности [1, 2, 3]. По результатам работы профильными специалистами: агрономами, зоотехниками, ветврачами, экономистами и др. (тип ЧЭ – человек-эксперт) – принимаются соответствующие управленческие решения [4, 5]. В процессе взаимодействия элементов системы формируется ряд общих задач, решаемых на основе теории функциональных систем, в том числе с помощью искусственного интеллекта (ИИ) с целью обработки большого массива данных и выделения ключевых моментов, влияющих на процесс принятия решений, управления быстро протекающими процессами в условиях высокой вариабельности распознавания образов и неопределенности поведения биологических объектов, управления логистическими потоками и др. [6, 7]. Схему управления сложной биомашсистемой животноводческой фермы можно представить в виде неориентированного мультиграфа с вершинами элементов «Человек – Машина – Животное – Продукция – Окружающая среда» (Ч-М-Ж-П-ОС) и ребрами (функциональными связями между элементами системы), которые являются результатом деятельности локальных биомашсистем доения, кормления, обеспечения микроклимата и др. в процессе технологического обслуживания животных с участием человека-оператора (ЧО) в автоматизированных или роботизированных системах обслуживания [8, 9]. Управление сложной биомашсистемой животновод-

ческого объекта сводится к последовательности действий:

- составляется неориентированный мультиграф биомашсистемы животноводческой фермы «Ч-М-Ж-П-ОС», отражающий функциональные связи и взаимодействие отдельных подсистем;

- составляются ориентированные мультиграфы локальных биомашсистем и определяется функционал, выполняемый каждой подсистемой «Ч», «М», «Ж», «П», «ОС» по ребрам графа (входящие и исходящие действия, управленческие решения и др.);

- формируются задачи контроля и управления, решаемые с помощью искусственного интеллекта: контроль качества работы машин и оборудования, идентификация животных и продукции, прогностические модели развития животных и их продукционных процессов (кривые лактации), управление экономикой предприятия, решаются логистические задачи управления входящими и исходящими материальными потоками, оценивается функциональная надежность техники и др. Общий контроль остается за человеком-оператором (ЧО) на рабочем месте и человеком-экспертом (ЧЭ) – зоотехником и ветврачом – на автоматизированных рабочих местах (АРМ-специалистов).

**Цель исследований:** обосновать структуру и функционал искусственного интеллекта для управления биомашсистемой животноводческой фермы.

Научная новизна работы представлена графо-аналитической оценкой функциональных связей в локальных биомашсистемах животноводческой фермы, обоснованием структуры и функционала искусственного интеллекта (ИИ), позволяющих разработать соответствующие телекоммуникационные цифровые

системы контроля качества работы операторов, машин и оборудования, физиологического состояния животных, управления экономикой и экологией предприятия в целом.

### Материалы и методы

Применили метод когнитивного моделирования сложных систем, предполагающий выбор управляющего решения из комплекса формализованных моделей, представляющих причинно-следственные связи между факторами (концепциями), являющимися вершинами ориентированного графа [10] с пошаговым дискретным алгоритмом их анализа. Формализация связей осуществляется с использованием известных приложений теории графов на основе алгоритмов Дейкстры и Беллмана-Форда для поиска кратчайших путей в графе с неотрицательными и отрицательными весами, алгоритма Форда-Фалкерсона для определения максимального потока и моделирования пропускной способности технологических линий при использовании и распределении ресурсов, алгоритма поиска оптимального покрытия или разбиения для определения минимального набора операторов или машин, необходимых для выполнения всех задач, анализа центральности вершин для выявления наиболее важных или влиятельных компонентов системы и др. [11, 12].

В рассматриваемой биомашсистеме животноводческой фермы «Ч-М-Ж-П-ОС» вершинами графа являются субъекты и объекты производственных процессов, а возникающие между ними функциональные связи (ребра графа) требуют оптимизации с целью повышения эффективности управления технологическими процессами, продуктивности животных и качества производимой продукции, использования ресурсов, снижения когнитивной нагрузки на операторов и экологической нагрузки на окружающую среду. Неориентированный мультиграф биомашсистемы животноводческой фермы в соответствии с рекомендациями [13] представлен на рисунке 1.

Для анализа и решения задач управления сложным биотехнологическим объектом выделим три подсистемы:

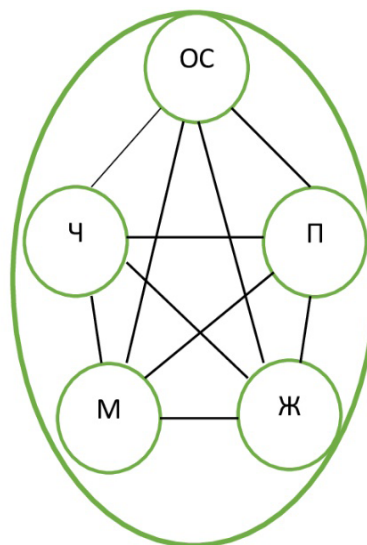
1. Технологические локальные биомашсистемы (ЛБМС<sub>м</sub>), участвующие в выполнении механизированных и автоматизированных процессов машинного обслуживания животных: поения, кормления, обеспечении микроклимата, доения, навозоудаления и др. Данные биомашсистемы управляют входящими материальными потоками: водой, воздухом, кормами, подстилкой, ветпрепаратами и др.,

предназначенными для животных или получаемыми от них исходящими материальными производственными потоками – приплодом, молоком, экскрементами и др. ЛБМС<sub>м</sub> управляются локальными информационно-управляющими системами ЛИУС<sub>м</sub>, взаимодействующими с автоматизированными рабочими местами специалистов фермы<sup>1</sup> [14].

2. Локальные биомашсистемы контроля физиологического состояния животных (ЛБМС<sub>ж</sub>), обеспечивающие процессы зооветеринарного обслуживания животных (контроль рационов кормления, диагностика и лечение заболеваний, искусственное осеменение, воспроизводство, прогноз моделей развития животных и их продуктивности и др.). ЛБМС<sub>ж</sub> управляются локальными информационно-управляющими системами ЛИУС<sub>ж</sub> [15, 16].

3. Информационно-управляющая система фермы ИУС<sub>ф</sub>, осуществляющая управление экономикой, сбытовой логистикой продукции, материально-техническим обеспечением и др.

Задачи для трех групп подсистем должны формироваться естественным интеллектом человека, искусственным интеллектом или их возможными комбинациями [17, 18].



**Рис. 1. Неориентированный мультиграф сложной биомашсистемы животноводческой фермы:**

Ч – человек; М – машина; Ж – животное;  
П – продукция; ОС – окружающая среда

**Fig. 1. Undirected multigraph of a complex biomachine system of a livestock farm:**

Ч – human; М – machine; Ж – animal;  
П – products; ОС – environment

<sup>1</sup> Измайлов А.Ю., Цой Ю.А., Кирсанов В.В. Технологические основы алгоритмизации и цифрового управления процессами молочных ферм: Монография. М.: Научно-издательский центр «Инфра-М», 2019. 208 с. EDN: UWAZMI.

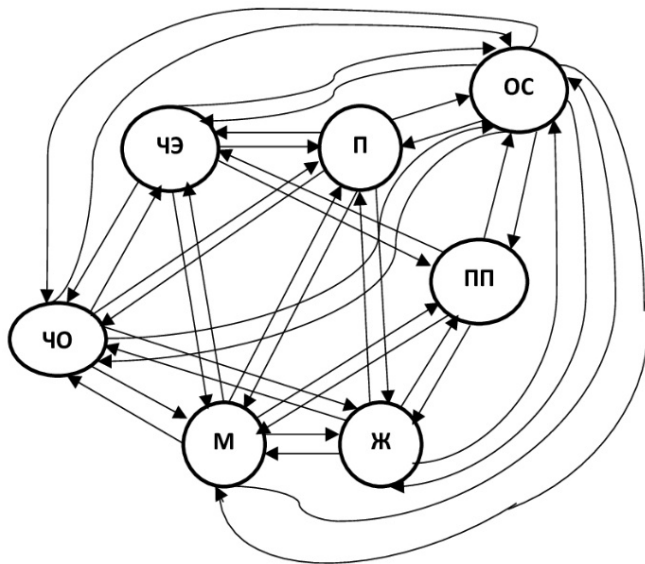
## Результаты и их обсуждение

Рассмотрим технологические локальные биомашсистемы доения и первичной обработки молока (ЛБМС<sub>д</sub>), приготовления и раздачи кормов (ЛБМС<sub>к</sub>), обеспечения микроклимата (ЛБМС<sub>мк</sub>), навозоудаления (ЛБМС<sub>н</sub>) и их функциональные связи в виде ориентированного мультиграфа [19] (рис. 2). Основные функциональные связи и технологические операции в локальных технологических биомашсистемах представлены в таблице 1.

Аналогичным образом можно представить функциональные связи в локальной биомашсистеме контроля физиологического состояния животных (ЛБМС<sub>ж</sub>) и информационно-управляющей системе фермы ИУС<sub>ф</sub>.

С учетом связей, приведенных в таблице 1, можно структурировать функционал применения искусственного интеллекта (табл. 2).

Использование ИИ и интернета вещей позволит осуществить автономное/частично автономное функционирование отдельных ЛБМС с непосредственной передачей (обменом) сигналов от одной ЛБМС к другой без связи с «центром управления» (АРМ-специалистов) (рис. 3) [8]. Предположим, что подсистема доения ЛБМС<sub>д</sub> передает сигнал  $U_{oi}$



**Рис. 2. Ориентированный мультиграф локальной технологической биомашсистемы (ЛБМС<sub>м</sub>) животноводческой фермы:**

ЧО – человек-оператор; ЧЭ – человек-эксперт;  
М – машина; Ж – животное; П – продукция;  
ПП – побочная продукция; ОС – окружающая среда

**Fig. 2. Directed multigraph of the local technological biomachine system of a livestock farm:**

ЧО – human operator; ЧЭ – human expert;  
М – machine; Ж – animal; П – products;  
ПП – by-products; ОС – environment

через свою базовую станцию  $BC_o$  подсистеме кормления ЛБМС<sub>к</sub> (рис. 3) о снизившихся надоях у отдельной группы лактирующих животных без изменения показателей их здоровья и физиологического статуса. Подсистема кормления ЛБМС<sub>к</sub>, принимая данный сигнал  $U_{ki}$  от своей базовой станции  $BC_k$ , формирует соответствующее решение о корректировке рациона кормления животных конкретной половозрастной группы. В этом случае может работать только первый контур локального управления I, осуществляющий автоматическую коррекцию рациона. При этом знание специалистов не требуется, и им направляются SMS-сообщения ( $I_{ki}$ ,  $I_{oi}$ ). В свою очередь, специалисты фермы (ЧЭ), работающие на АРМ, получив соответствующие дублирующие сигналы через контур управления II, могут при необходимости перепроверить полученную информацию и отправить ответные информационные сигналы-распоряжения ( $I_{ai}^k$ ,  $I_{ai}^d$ ) в буфер обмена информации – базы данных (БД), предназначенные для изменения параметров и режимов работы ЛБМС<sub>к</sub> и ЛБМС<sub>д</sub>.

Аналогичным образом могут работать ЛБМС<sub>мк</sub> и ЛБМС<sub>н</sub>. Например, при изменении параметров микроклимата (повышении загазованности помещения  $NH_3$ ,  $CO_2$  и  $H_2S$ ) в момент включения системы навозоудаления включается принудительная система вентиляции, удаляющая избыток вредных газов. То же самое происходит при повышении температуры и относительной влажности воздуха в помещении. Сигналы с датчиков животных и помещений поступают в соответствующие ЛБМС (кормления, микроклимата, навозоудаления), и они нормализует ситуацию, увеличивая подачу воздуха, воды, корма и т.д.

В случае, если локальный уровень взаимодействия не может исправить ситуацию и требуется вмешательство специалистов, тогда информационные сигналы проходят в автоматизированные рабочие места АРМ, и профильные специалисты (ЧЭ), осматривая животных, выделенных подсистемой в отдельные группы, принимают решение; проверяется качество работы технологического оборудования. Для более эффективного управления технологическими процессами обслуживания животных в каждой локальной подсистеме формируется блок тестовых параметров, с которыми постоянно сравниваются отклонения текущих параметров биологических и машинных объектов.

Анализируя данные таблиц 1, 2, отметим, что в процессе развития интеллектуальных систем управления производством естественный интеллект ЧО-ЧЭ постепенно передается машинному

Таблица 1

**Функциональные связи в локальных биомашсистемах доения, кормления, обеспечения микроклимата, удаления, обработки и хранения навоза**

Table 1

**Functional connections in the local biomachine systems of milking, feeding, climate control; manure removing, processing and storing**

Элементы биомашсистемы и направление функциональных связей между ними		Вид локальной биомашсистемы			
		ЛБМС <sub>д</sub> (доение)	ЛБМС <sub>к</sub> (кормление, поение)	ЛБМС <sub>мк</sub> (микроклимат)	ЛБМС <sub>н</sub> (удаление и переработка навоза)
1		2	3	4	5
ЧО-ЧЭ	→	СМС-сообщения о проблемах			
	←	СМС-сообщения о решении по проблеме			
ЧО-М	→	Управление доильным аппаратом, промывкой оборудования	Управление кормораздатчиком	Управление вентиляцией	Управление навозоуборочным оборудованием и транспортерами
	→	Прием показаний (сообщений) с датчиков, приборов			
ЧО-Ж	→	Подготовка вымени, контроль процесса доения	Подготовка компонентов корма, контроль процесса кормления	Контроль температуры, сквозняков, поведения животных	Контроль чистоты стойл, подстилки проходов помещений
	←	Тревожная реакция животного (нет молокоотдачи, сбивание доильного аппарата)	Сортировка корма животными на кормовом столе	Реакция животных на тепловой стресс, сквозняки	Реакция животных на загрязненные стойла, малая продолжительность отдыха в боксе
ЧО-П	→	Контроль качества молока, наличие мастита у коров	Контроль качества воды, кормов	Контроль качества приточного воздуха	–
	←	Взятие проб молока на анализ	Взятие проб корма (воды) на анализ	Взятие проб приточного воздуха на анализ	–
ЧО-ПП	→	–	Контроль качества и количества кормовых остатков	–	Контроль качества навоза (побочной продукции)
	←	–	Взятие проб остатков корма на анализ	–	Взятие проб навоза (побочной продукции) на анализ
ЧО-ОС	→	Контроль работы маслоуловителей вакуумных насосов	–	Контроль выбросов парниковых газов	Контроль выбросов парниковых газов и инфильтрации жидкости в системах удаления, обработки и хранения навоза
	←	Взятие на анализ проб выбрасываемого воздуха из вакуумных насосов	–	Взятие проб на для анализа выходящего воздуха из помещений	Взятие на анализ почвы, воды и воздуха вокруг животноводческой фермы
ЧЭ-М	→	Организация контрольных доек, периодического контроля вакуумного режима, санитарного состояния доильных установок	Организация периодического контроля качества кормов из хранилищ, корректировка рационов кормления	Организация периодической проверки качества работы систем вентиляции, локального обогрева молодняка	Организация периодической проверки работы оборудования для удаления, обработки и хранения навоза, санитарного состояния боксов
	←	Анализ информации с локальных постов доения, промывки оборудования, приборов оценки качества молока	Анализ информации с локальных постов кормления, бортовых контроллеров раздатчиков, приборов оценки качества кормов	Анализ информации с датчиков и локальных постов управления микроклиматом	Анализ информации с локальных постов управления системами удаления, обработки и хранения навоза
ЧЭ-П	→	Организация контроля качества молока при отгрузке на молокозавод	Организация периодического контроля качества однородности кормовых смесей	Организация периодического контроля качества приточного воздуха	–
	←	Анализ проб молока перед отгрузкой на молокозавод	Анализ проб корма (воды) после смешивания	Анализ проб приточного воздуха	–

Окончание табл. 1

1		2	3	4	5
ЧЭ-ПП	→	–	Организация периодического контроля качества и количества кормовых остатков	–	Организация периодического контроля качества навоза (побочной продукции)
	←	–	Анализ проб остатков корма на кормовом столе	–	Анализ проб навоза (побочной продукции)
ЧЭ-ОС	→	Организация периодического контроля работы маслоуловителей вакуумных насосов	–	Организация периодического контроля выбросов парниковых газов	Организация периодического контроля выбросов парниковых газов и инфильтрации жидкости в системах удаления, обработки и хранения навоза
	←	Анализ проб выбрасываемого воздуха из вакуумных насосов	–	Анализ проб выходящего воздуха из помещений	Анализ почвы, воды и воздуха вокруг животноводческой фермы
М-П	→	Управляемый впуск воздуха для транспортирования молока, автоматический отбор проб при контрольных дойках, отделение аномального молока в потоке, вывод молока из-под вакуума	Автоматизированный отбор проб корма при анализе питательной ценности и качества смешивания кормов	Очистка приточного / вытяжного воздуха от пыли, вредных газов, охлаждение / подогрев, увлажнение / осушение	–
	←	Измерение электропроводности, оптических свойств и пенообразования молока	Измерение физико-механических и оптических свойств корма	Измерение физико-химических свойств приточного / вытяжного воздуха	–
М-Ж	→	Автоматический контроль и управление вакуумным режимом, частотой пульсаций, соотношением тактов, контроль скорости молокоотдачи, надоев молока, процесса промывки оборудования	Автоматизированный контроль погрузки, смешивания и раздачи кормов, пододвигание корма на кормовом столе	Автоматизированный контроль подачи приточного и вытяжного воздуха	–
	←	Припуск молока, продолжительность доения, планируемый удой молока	Поедаемость кормов животными, количество остатков корма на кормовом столе	Тепловой, холодовой стрессы, повышенная / пониженная двигательная активность, питье	–
М-ПП	→	–	Сбор и удаление остатков корма	–	Автоматизированное управление оборудованием для удаления, обработки и хранения навоза
	←	–	Оценка органолептических, физико-механических и оптических свойств остатков корма	–	Выделение экскрементов, загрязненность подстилки, степень заполнения навозных каналов
М-ОС	→	Сбор и утилизация (регенерация) моющих растворов, выхлопных газов масляных вакуумных насосов	Сбор и утилизация (регенерация) остатков корма	Очистка и утилизация (регенерация) загрязненного воздуха из помещений	Подготовка и внесение органических удобрений на поля
	←	Контроль шума работающих вакуумных насосов, стоков доильных залов	Контроль сбора и утилизация (регенерации) остатков корма	Контроль выброса парниковых газов	Анализ почвы, воды и воздуха вокруг животноводческой фермы

искусственному интеллекту, освобождая человека от рутины принимаемых повседневных управленческих операторских решений и предоставляя возможность сосредоточиваться на анализе и построении прогнозных моделей развития производства на ближайшую и отдаленную перспективы. При этом уровень, скорость и точность принимаемых решений

человеком-оператором (ЧО) и человеком-экспертом (ЧЭ) повышаются, поскольку качество параметров контролируется различными нейросетевыми программными продуктами, способными анализировать и обрабатывать большие массивы данных на разных уровнях и в различных производственных ситуациях.

Функции искусственного интеллекта в локальных биомашинных системах животноводческой фермы

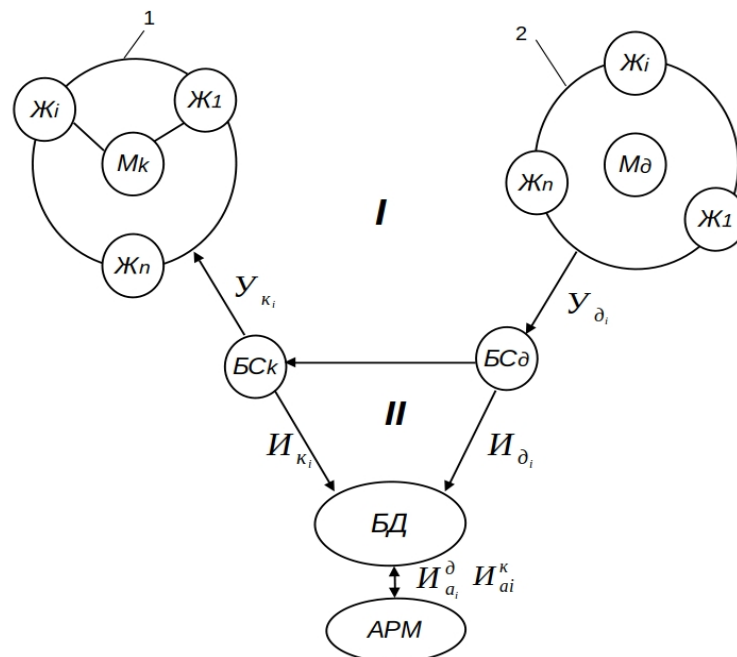
Таблица 2

Areas of using artificial intelligence in local biomachine systems of a livestock farm

Table 2

Функциональная связь	Вид ЛБМСм				Вид и функционал контролирующего искусственного интеллекта (ИИ)
	ЛБМС <sub>д</sub>	ЛБМС <sub>к</sub>	ЛБМС <sub>мк</sub>	ЛБМС <sub>н</sub>	
ЧО-ЧЭ	+	+	+	+	ПО – обработка информации (текст, видео)
ЧО-ЧЭ-М	+	+	+	+	Интеллектуальные системы прогнозирования утомляемости операторов, надежности машин и оборудования
ЧО-ЧЭ-Ж	+	+	+	+	Интеллектуальные системы прогнозирования физиологического развития, поведения, возможных заболеваний и стрессоустойчивости животных
ЧО-ЧЭ-П	+	+	+	–	Интеллектуальные телеметрические системы экспресс-диагностики качества молока, кормов, воды, воздуха и др.
ЧО-ЧЭ-ПП	–	+	–	+	Интеллектуальные телеметрические системы контроля качества побочной продукции
ЧО-ЧЭ-ОС	+	–	+	+	Интеллектуальные телеметрические системы контроля метеоусловий, выброса парниковых газов, навозных стоков, травостоя пастбищ и др.
М-П	+	+	+	–	Интеллектуальные телеметрические системы контроля показателей работы машин и технологического оборудования с анализом проб качества продукции
М-Ж	+	+	+	–	Телеметрические системы контроля показателей качества обслуживания животных (вакуумный режим доильной установки, неравномерность раздачи корма и др.) и самих животных
М-ПП	–	+	–	+	Интеллектуальные телеметрические системы контроля показателей и режимов работы оборудования по переработке и хранению навоза
М-ОС	+	+	+	+	Интеллектуальные телеметрические системы контроля показателей работы фильтрационного, регенерирующего и очистного оборудования
П-ПП-ОС	+	–	+	+	Интеллектуальные телеметрические системы контроля отгрузки готовой продукции, очистки помещений от навоза, выхода стоков доильных залов, влияния окружающей среды на качество продукции

Примечание. +/- используется/не используется в ЛБМС данная система ИИ.



**Рис. 3. Структурно-функциональная схема взаимодействия локальных биомашсистем доения ЛБМС<sub>д</sub> и кормления ЛБМС<sub>к</sub> в режиме интернета вещей:**

I, II – контуры локального управления; 1, 2 – соответственно локальные автоматизированные и/или роботизированные биомашсистемы кормления (ЛБМС<sub>к</sub>) и доения (ЛБМС<sub>д</sub>);  
 Ж<sub>1</sub>, Ж<sub>2</sub>, Ж<sub>п</sub> – обслуживаемые животные; М<sub>к</sub>, М<sub>д</sub> – модули кормления и доения;  
 БС<sub>к</sub>, БС<sub>д</sub> – базовые станции, приемо-передающие сигналы от ЛБМС<sub>к</sub> и ЛБМС<sub>д</sub> соответственно;  
 У<sub>кi</sub>, У<sub>дi</sub> – исходящие и входящие сигналы от ЛБМС<sub>к</sub> и ЛБМС<sub>д</sub> соответственно;  
 И<sub>кi</sub>, И<sub>дi</sub> – информационные сигналы, передаваемые базовыми станциями БС<sub>к</sub> и БС<sub>д</sub> в буфер обмена информации (БД) для АРМ-специалистов (ЧЭ);  
 И<sub>аi</sub><sup>к</sup>, И<sub>аi</sub><sup>д</sup> – информационные сигналы (распоряжения), передаваемые АРМ-специалистами фермы (ЧЭ) в буфер обмена информации (БД) для корректировки режимов работы ЛБМС<sub>к</sub> и ЛБМС<sub>д</sub>;  
 АРМ – автоматизированные рабочие места специалистов фермы (ЧЭ)

**Fig. 3. Structural and functional diagram of the interaction between local biomachine systems for milking (ЛБМС<sub>д</sub>) and feeding (ЛБМС<sub>к</sub>) in the Internet of Things (IoT) framework:**

I, II – local control loops; 1, 2 – local automated and/or robotic biomachine systems for feeding (ЛБМС<sub>к</sub>) and milking (ЛБМС<sub>д</sub>), respectively; Ж<sub>1</sub>, Ж<sub>2</sub>, Ж<sub>п</sub> – animals being serviced; М<sub>к</sub>, М<sub>д</sub> – feeding and milking modules;  
 БС<sub>к</sub>, БС<sub>д</sub> – base stations transmitting and receiving signals from ЛБМС<sub>к</sub> and ЛБМС<sub>д</sub>, respectively;  
 У<sub>кi</sub>, У<sub>дi</sub> – outgoing and incoming signals from ЛБМС<sub>к</sub> and ЛБМС<sub>д</sub>, respectively;  
 И<sub>кi</sub>, И<sub>дi</sub> – information signals transmitted by base stations БС<sub>к</sub> and БС<sub>д</sub> to the information exchange buffer (Data Base) for specialist workstations (Human Element);  
 И<sub>аi</sub><sup>к</sup>, И<sub>аi</sub><sup>д</sup> – information signals (instructions) transmitted by farm specialist workstations (Human Element) to the information exchange buffer (DB) to adjust the operating modes of ЛБМС<sub>к</sub> and ЛБМС<sub>д</sub>;  
 АРМ – automated workstations for farm specialists (Human Element)

### Выводы

1. Рассмотренные с помощью графоаналитического метода функциональные связи в локальных биомашсистемах доения, кормления, обеспечения микроклимата, удаления и переработки навоза позволили выявить возможные направления применения искусственного интеллекта на животноводческих предприятиях в виде дистанционных телеметрических интеллектуальных цифровых систем контроля

качества работы операторов, машин и оборудования, физиологического состояния животных, управления экономикой и экологией предприятия.

2. Взаимодействие локальных автоматизированных и/или роботизированных биомашсистем позволяет в режиме реального времени с помощью ИИ и интернета вещей осуществить их автономное/частично автономное функционирование и согласованное эффективное управление.

## Список источников

1. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // *Техника и оборудование для села*. 2023. № 4 (310). С. 2-5. EDN: KIGZDF
2. Лобачевский Я.П., Дорохов А.С. Цифровые технологии и роботизированные технические средства для сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15, № 4. С. 6-10. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
3. Зацаринный А.А., Меденников В.И., Райков А.Н. Интеграция приложений искусственного интеллекта в единую цифровую платформу АПК // *Информационное общество*. 2023. № 1. С. 127-138. EDN: NMKKLZ
4. Ялунина Е.Н., Прядилина Н.К., Скворцов Е.А. Совершенствование процесса принятия управленческих решений в сельском хозяйстве с применением систем искусственного интеллекта // *Аграрный вестник Урала*. 2024. Т. 24, № 3. С. 440-449. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-440-449>
5. Иксанов Р.А., Владимиров И.А., Гиззатуллин Р.Х. Влияние внедрения технологий искусственного интеллекта на ресурсосбережение в сельском хозяйстве // *Вестник КрасГАУ*. 2025. № 3(216). С. 131-139. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-3-131-139>
6. Черноиванов В.И., Толоконников Г.К. Агрокиборг как биомашсистема // *Техника и оборудование для села*. 2022. № 9 (303). С. 2-5. EDN: YUSXKX
7. Скворцов Е.А., Набоков В.И., Некрасов К.В. и др. Применение технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве // *Аграрный вестник Урала*. 2019. № 8(187). С. 91-98. [https://doi.org/10.32417/article\\_5d908ed78f7fc7.89378141](https://doi.org/10.32417/article_5d908ed78f7fc7.89378141)
8. Кирсанов В.В., Цой Ю.А. Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14, № 3. С. 27-32. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32>
9. Jha K., Doshi A., Patel P., Shah M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2019;2:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>
10. Будзко В.И., Меденников В.И. Системный анализ образовательных цифровых экосистем в АПК // *Системы высокой доступности*. 2023. Т. 19, № 1. С. 46-58. EDN: KEXDUB
11. Павленко Е.Ю. Алгоритм предсказания связей в саморегулирующейся сети с адаптивной топологией на базе теории графов и машинного обучения // *Моделирование и анализ информационных систем*. 2023. Т. 30, № 4. С. 288-307. <https://doi.org/10.18255/1818-1015-2023-4-288-307>
12. Соловов А.В., Меньшикова А.А. Когнитивное моделирование процессов адаптивного обучения // *Онтология проектирования*. 2024. Т. 14, № 2 (52). С. 181-195. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2024-14-2-181-195>
13. Кирсанов В.В., Дорохов А.С., Иванов Ю.А. Графоаналитическая оценка функционирования локальных биотехнических систем в животноводстве // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 2. С. 4-9. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-4-9>
14. Раевская Е.Г. Применение искусственного интеллекта в сельском хозяйстве Китая (обзор) // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024. Т. 25, № 5. С. 739-753. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.739-753>
15. Gill S.S., Goel S., Macovei A. et al. The agritech revolution: Artificial intelligence reshaping the agriculture. *Current Plant Biology*. 2025;44:100554. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2025.100554>

## References

1. Lobachevskiy Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Shogonov Yu.Kh. Scientific and technical achievements of agricultural engineering organizations in the context of digital transformation of agriculture. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023;4(310):2-5. (In Russ.)
2. Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S. Digital technologies and robotic devices in the agriculture. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2021;15(4):6-10. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-6-10>
3. Zatsarinny A.A., Medennikov V.I., Raikov A.N. Integration of agricultural artificial intelligence applications into a single digital platform. *Information Society*. 2023;1:127-138. (In Russ.)
4. Yalunina E.N., Pryadilina N.K., Skvorcov E.A. Improving the process of making management decisions in agriculture using artificial intelligence systems. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024;24(3):440-449. (In Russ.) <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-03-440-449>
5. Iksanov R.A., Vladimirov I.A., Gizzatullin R.Kh. The impact of implementing artificial intelligence technologies on resource saving in agriculture. *Bulletin of KSAU*. 2025;3:131-139. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2025-3-131-139>
6. Chernov Ivanov V.I., Tolokonnikov G.K. Agrocyborg as a bio-machine system. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022;9(303):2-5. (In Russ.)
7. Skvorcov E.A., Nabokov V.I., Nekrasov K.V. et al. Application of technologies of artificial intelligence in agriculture. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2019;8:91-98. (In Russ.) [https://doi.org/10.32417/article\\_5d908ed78f7fc7.89378141](https://doi.org/10.32417/article_5d908ed78f7fc7.89378141)
8. Kirsanov V.V., Tsoi Yu.A. Trends in the development of biotechnical systems in animal husbandry. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020;14(3):27-32. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32>
9. Jha K., Doshi A., Patel P., Shah M. A comprehensive review on automation in agriculture using artificial intelligence. *Artificial Intelligence in Agriculture*. 2019;2:1-12. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2019.05.004>
10. Budzko V.I., Medennikov V.I. System analysis of educational digital ecosystems in the agro-industrial complex. *Highly Available Systems*. 2023;19(1):46-58. (In Russ.)
11. Pavlenko E.Y. Algorithm for link prediction in self-regulating network with adaptive topology based on graph theory and machine learning. *Modeling and Analysis of Information Systems*. 2023;30(4):288-307. (In Russ.) <https://doi.org/10.18255/1818-1015-2023-4-288-307>
12. Solovov A.V., Menshikova A.A. Cognitive modeling of adaptive learning processes. *Ontology of Designing*. 2024;14(2):181-195. <https://doi.org/10.18287/2223-9537-2024-14-2-181-195>
13. Kirsanov V.V., Dorokhov A.S., Ivanov Yu.A. Graph analytics of the performance of local biotechnical systems in animal husbandry. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(2):4-9. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-2-4-9>
14. Raevskaya E.G. Introducing artificial intelligence in Chinese agriculture (review). *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(5):739-753. (In Russ.) <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.739-753>
15. Gill S.S., Goel S., Macovei A. et al. The agritech revolution: Artificial intelligence reshaping the agriculture. *Current Plant Biology*. 2025;44:100554. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2025.100554>
16. Kirsanov V.V., Pavkin D.Yu., Vladimirov F.E. et al. Monitoring and control of the "Animal" subsystem in the complex biotechnical system "Man-Machine-Animal" of a dairy farm.

16. Кирсанов В.В., Павкин Д.Ю., Владимиров Ф.Е. и др. Контроль и управление подсистемой «животное» в сложной биотехнической системе «Человек-машина-животное» молочной фермы // *Агроинженерия*. 2020. № 6 (100). С. 6-10. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-6-4-10>

17. Дубровский Д.И. Задача создания общего искусственного интеллекта и проблема сознания // *Философские науки*. 2021. Т. 64, № 1. С. 13-44. <https://doi.org/10.30727/0235-1188-2021-64-1-13-44>

18. Ezanno P., Picault S., Beaunée G. et al. Research perspectives on animal health in the era of artificial intelligence. *Veterinary Research*. 2021;52:40. <https://doi.org/10.1186/s13567-021-00902-4>

19. Han Z., Cheng L., Tian L., Xing L. A graph theory-based optimization design for complex manufacturing processes. *IEEE Access*. 2020;8:95547-95558. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991218>

#### Сведения об авторах

<sup>1</sup> **Дорохов Алексей Семенович**, академик РАН, д-р техн. наук; dorokhov.vim@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; SPIN-код: 6711-8971

<sup>2</sup> **Кирсанов Владимир Вячеславович**, чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, профессор; kirvv2014@mail.ru<sup>✉</sup>; <http://orcid.org/0000-0003-2549-4070>; SPIN-код: 3983-5253

<sup>3</sup> **Баишева Равза Анвяровна**, канд. техн. наук, ведущий специалист; rozamamedova@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-9145-4478>; SPIN-код: 2189-0469

<sup>4</sup> **Кирсанов Сергей Владимирович**, аспирант; kirseryii@mail.ru; SPIN-код: 1673-0830

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Федеральное научное агроинженерное учреждение ВИМ; 109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, 5

#### Вклад авторов

Дорохов А.С. – методология, руководство исследованиями; Кирсанов В.В. – концептуализация, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование; Баишева Р.А. – создание черновика рукописи; Кирсанов С.В. – ресурсы, визуализация.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат.

Статья поступила 17.10.2025, после рецензирования и доработки – 12.12.2025; принята к публикации 25.12.2025

*Agricultural Engineering (Moscow)*. 2020;(6):4-10. (In Russ.) <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-6-4-10>

17. Dubrovsky D.I. The task of the creation of artificial general intelligence and the problem of consciousness. *Russian Journal of Philosophical Sciences*. 2021;64(1):13-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.30727/0235-1188-2021-64-1-13-44>

18. Ezanno P., Picault S., Beaunée G. et al. Research perspectives on animal health in the era of artificial intelligence. *Veterinary Research*. 2021;52:40. <https://doi.org/10.1186/s13567-021-00902-4>

19. Han Z., Cheng L., Tian L., Xing L. A graph theory-based optimization design for complex manufacturing processes. *IEEE Access*. 2020;8:95547-95558. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2991218>

#### Author Information

**Aleksey S. Dorokhov**<sup>1</sup>, Full Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng); dorokhov.vim@yandex.ru; <http://orcid.org/0000-0002-4758-3843>; Scopus ID: 57218106496

**Vladimir V. Kirsanov**<sup>2</sup>, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Eng), Professor; kirvv2014@mail.ru<sup>✉</sup>; <http://orcid.org/0000-0003-2549-4070>

**Ravza A. Baisheva**<sup>3</sup>, CSc (Eng), Lead Specialist; rozamamedova@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-9145-4478>

**Sergey V. Kirsanov**<sup>4</sup>, postgraduate student; kirseryii@mail.ru<sup>✉</sup>; <sup>1,2,3,4</sup> Federal Scientific Agroengineering Center VIM; 109428, Russian Federation, Moscow, 1st Institutsky Proyezd, 5

#### Author Contribution

A.S. Dorokhov – methodology, research supervision; V.V. Kirsanov – conceptualization, writing – review and editing of the manuscript; R.A. Baisheva – writing – original draft; S.V. Kirsanov – resources, visualization

#### Conflict of interests

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

Received 17.10.2025; Revised 12.12.2025; Accepted 25.12.2025