

Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве

Владимир Вячеславович Кирсанов,
доктор технических наук,
главный научный сотрудник;

Юрий Алексеевич Цой,
член-корреспондент РАН,
доктор технических наук, главный научный
сотрудник, e-mail: femaks@bk.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Понятие биотехнических систем относится к классу человеко-машинных систем или систем «Человек–машина–растение», «Человек–машина–животное», последние относятся к сельскому хозяйству и отрасли животноводства, в частности. В сельскохозяйственном производстве биотехнические системы обладают свойствами бимодальности, когда присутствуют два и более биологических объекта, человек как управляющий оператор и объект обслуживания (растения, животные). (*Цель исследования*) Проанализировать тенденции развития биомашинных и технических систем с целью дальнейшей интеллектуализации и цифровой трансформации сельскохозяйственного производства. (*Материалы и методы*) Отметим, что в исследовании человеко-машинных систем существует два подхода: антропоцентрический и машиноцентрический; первый решающую роль отводит человеку, второй – машине. (*Результаты и обсуждение*) Рассмотрели функционалы подсистем «Человека» и «Машины»; часть функций человека-оператора будут постепенно передавать «Машине», а человек-оператор будет трансформирован в человека-эксперта и человека-пользователя. Разработали схему интеллектуальной биотехнической системы в животноводстве, определили коэффициенты адаптации локальных автоматизированных и роботизированных биотехнических систем к биологическим объектам. Создали схему функционирования локальных биотехнических систем в частично автономном режиме мультиагентного управления, выявили критерии оценки функционирования локальных биотехнических систем. (*Выводы*) Необходимо усиление «машинного» фактора на основе развивающейся машиноцентрической модели и преобразования сложной трехзвенной биотехнической системы в животноводстве в двухзвенную с поляризацией подсистем «Человек-эксперт», «Человек-пользователь» и «Машина-животное», при этом последняя вбирает в себя все больше интеллектуальных функций, переданных «Человеком», за которым сохраняется контроль, координация и управление всей системой.

Ключевые слова: биотехническая система, биомашсистема, локальная биотехническая система, уровни адаптации, машиноцентрическая модель, человек-оператор, человек-пользователь, человек-эксперт.

■ Для цитирования: Кирсанов В.В., Цой Ю.А. Тенденции развития биотехнических систем в животноводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. №3. С. 27-32. DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32.

Trends in the Development of Biotechnical Systems in Animal Husbandry

Vladimir V. Kirsanov,
Dr.Sc.(Eng.), chief researcher;

Yuriy A. Tsoy,
corresponding member of RAS, Dr.Sc.(Eng.),
chief researcher, e-mail: femaks@bk.ru;

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The concept of biotechnical systems belongs to the class of human-machine systems or human-machine-plant systems, human-machine-animal systems. The latter relate to agriculture and the livestock industry. In agricultural production, biotechnical systems have the properties of bimodality, when there are two or more biological objects, a person as a managing operator and a service object (plants, animals). (*Research purpose*) The research purpose is in analyzing trends in the development of biomachine and technical systems in order to further intellectualize and digitalize agricultural production. (*Materials and methods*) There are two approaches in the study of human-machine systems: anthropocentric and machine-centric; the first one assigns a crucial role to the person, the second one – to the machine. (*Results and discussion*) The article presents the functionality of the Human and Machine subsystems. Part of the functions of the Human operator will gradually be transferred to the Machine, and the Human operator will be transformed into a human Expert and a human User. The article presents a scheme for an intelligent biotechnical system in animal husbandry, and determines the coefficients of adaptation of local automated and robotic biotechnical systems to biological objects. Authors have created a scheme for the functioning of local biotechnical systems in a partially autonomous multi-agent control mode,

and identifies criteria for evaluating the functioning of local biotechnical systems. (*Conclusions*) We need to strengthen the Machine factor on the basis of developing machine-centric models and convert complex three-tier system of biotech in animal husbandry in two-tier with the polarization of the human Expert, human User and Machine–Animal subsystems. The latter absorbs more and more intelligent functions that are passed by a Man, for which it retained control, coordination and management of the entire system.

Keywords. biotechnical system, biomachine system, local biotechnological system, adaptation levels, machine-centric model, human operator, human user, human expert.

For citation: Kirsanov V.V., Tsoy Yu.A. Tendentsii razvitiya biotekhnicheskikh sistem v zhivotnovodstve [Trends in the development of biotechnical systems in animal husbandry]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2020. Vol. 14. N3. 27-32 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2020-14-3-27-32.

Понятие биотехнических систем входит в класс человеко-машинных систем или систем «Человек–машина–растение», «Человек–машина–животное», последние относятся к сельскому хозяйству, и в частности к отрасли животноводства. В сельскохозяйственном производстве биотехнические системы обладают свойствами бимодальности, когда присутствуют два и более биологических объекта, человек как управляющий оператор и объект обслуживания (растения, животных). Кроме того, объединяющей средой этих биологических объектов служит тоже биологический объект – поле (почва) как основной источник энергии для растений и животных.

Процесс преобразования энергии в сельскохозяйственном производстве рассмотрен в классических трудах академика В.П. Горячкина, в которых он рассматривает три составляющих этого процесса: источник энергии (солнце, атмосфера), накопитель энергии (аккумулятор – почва), приемник энергии (потребитель) – растения, животные [1]. Эти труды имеют неоспоримое значение для развития теории и практики создания новой техники для сельскохозяйственного производства, перевода ее проектирования на научную основу. По мере усложнения машинных технологий формировались и развивались научные методы их обоснования и расчета, рассматривались не только отдельные рабочие органы, но и агрегаты в целом, влияющие на качество обслуживания и состояние биологических объектов (экологию), сформировался кластер человеко-машинных систем [2]. Применительно к животноводству используется термин биотехнические системы – БТС. Такой термин использует в своих трудах Л.П. Карташов, изучая процесс взаимодействия исполнительных механизмов доильной техники с выменем коровы [3]. Известны труды по функциональным системам в области медицины, выполненные П.К. Анохиным [4]. Профессор В.М. Ахутин (1975 г.) предложил термин «Биотехнические системы для выделения особого класса больших систем, представляющих собой совокупность биологических и технических элементов, связанных между собой в едином контуре управления» [5].

В настоящее время под руководством академика РАН В.И. Черноиванова ведут исследования в данном

направлении, введено новое понятие «Биомашсистема», точнее отражающее взаимодействие машин и агрегатов в сельскохозяйственном производстве с биологическими объектами [6]. В животноводстве часто используется термин «Оборудование». К классическим самоходным машинам можно отнести кормоприготовительные и раздающие агрегаты, поэтому здесь очевидно применимы как терминология БТС, так и «Биомашсистемы». С развитием средств автоматизации, информатизации производства возрастает роль и значение систематизации знаний и управления сложными биотехническими и машинными комплексами, особенно это касается такой важной отрасли, как животноводство [7].

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – проанализировать тенденции развития биомашинных и технических систем с целью дальнейшей интеллектуализации и цифровой трансформации сельскохозяйственного производства [8].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. В исследовании человеко-машинных систем существует два подхода: антропоцентрический и машиноцентрический [9]. Первый предполагает и отводит решающую роль человеку, второй – машине. Безусловно роль человека в системе «Человек–машина–животное» не только сохраняется, но и возрастает.

Однако с развитием средств автоматизации функции человека-оператора (ЧО) будут постепенно замещаться человеком-экспертом (ЧЭ) и человеком-пользователем (ЧП) [10]. Общий функционал подсистемы «Человек» можно представить в виде суммы функционалов:

$$Z_{\text{ч}} = f[\text{ЧО}] + f[\text{ЧЭ}] + f[\text{ЧП}], \quad (1)$$

при этом $f[\text{ЧО}]$ стремится к минимуму в автоматических системах, одновременно возрастает роль накопленных человеческих знаний в моделях и алгоритмах и их передача функционалам $f[\text{ЧЭ}]$ и $f[\text{ЧП}]$ [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. На первом этапе ручные функции управления будут переданы машине, а также будет постепенно происходить передача интеллектуальных функций оператора машине (автомату), при этом за человеком останется контроль и корректировка машинных алгоритмов, моделей поведения животных и др. Функционал «Машины» будет повышаться.

$$Z_{(M)} = f[\text{ЧО}, x_{1p} \dots x_{np}] + f[\text{ЧО}, y_{1n} \dots y_{nn}] + f[M, z_{m1} \dots z_{mn}] + f[\text{Ж}, y_{ж1} \dots y_{жn}] \quad (2)$$

где $Z_{(M)}$ – полный функционал машины; $f[\text{ЧО}, x_{1p} \dots x_{np}]$ – функционал замещаемых ручных операций человека-оператора, переданных машине (автомату); $f[\text{ЧО}, y_{1n} \dots y_{nn}]$ – функционал части простых интеллектуальных функций ЧО, переданных машине М (контроль, анализ, управление) за исключением интуиции; $f[\text{Ж}, y_{ж1} \dots y_{жn}]$ – функционал параметров животных, ранее контролируемых человеком-оператором: контроль припуска молокоотдачи, половой охоты, заболеваемость маститами – и переданных машине.

В связи с этим роль «машинного» фактора в современных агротехнологиях будет возрастать [12]. За человеком в основном будут закрепляться функции ЧП и ЧЭ. На основе «слабого» нейросетевого искусственного интеллекта машина будет постепенно обучаться относительно простым функциям адаптации к биологическим объектам: количество и качество потребляемого корма, измерение удоя и полноты выдаивания, контроль заболевания и лечения. На первом этапе интеллектуализации производства будет возрастать информационная составляющая, отражающая взаимодействие подсистемы «Машина–животное» (М–Ж). И машина с помощью своих сенсоров будет наблюдать и сигнализировать о возникших неполадках в подсистеме М–Ж: снизились надои, возник ацидоз рубца желудка коровы и т.д. [13]. Сигналы будут поступать через соответствующие базовые станции в автоматизированные рабочие места человека-эксперту: профильным специалистом (ветврачу, зооинженеру и др.), которые станут их изучать, сравнивать и передавать по обратной связи команды в локальные биотехнические и биомашинные системы ЛБТС (БМС), перенаправлять и повышать уровни их адаптации Y_a (рис. 1).

Уровни адаптации локальных биотехнических систем (доения, поения, кормления и т.д.) можно оценить соответствующими коэффициентами.

$$\begin{cases} Y_{a1} = \frac{N_{a1}}{N_{\Sigma 1}} \\ Y_{an} = \frac{N_{an}}{N_{\Sigma n}} \end{cases} \quad (3)$$

где N_{a1}, N_{an} – количество показателей в подсистеме МЖ, контролируемых в автоматическом режиме и не требующих вмешательства человека, $N_{\Sigma 1}, N_{\Sigma n}$ – суммарное количество показателей, требующих контроля, для нормальной работы ЛБТС, в том числе со стороны специалистов (ЧЭ, ЧП). При этом функционирование отдельных ЛБТС может не требовать для принятия решения связи с «центром управления» (ЧЭ, ЧП) через соответствующие АРМ и непосредственно передавать сигналы с одной ЛБТС на другую, используя автономные режимы мультиагентного управле-

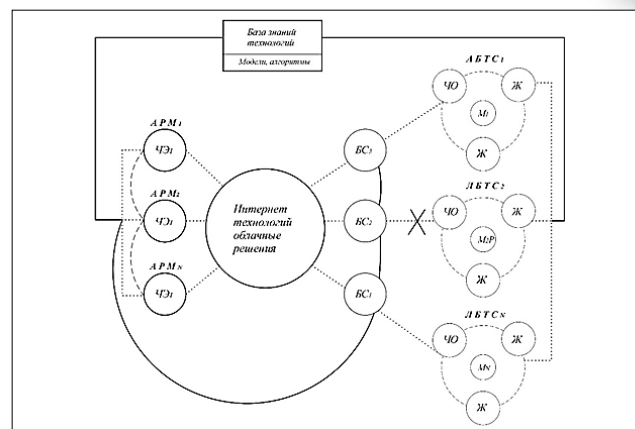


Рис. 1. Структурная схема интеллектуальной БТС

Fig. 1. Block diagram of an intelligent BTS

ния [12-14]. Например, ЛБТСк кормления получают сигнал от ЛБТСД доения об изменившихся условиях функционирования – снизившихся надоях у группы лактирующих животных без изменения показателей их здоровья. Система ЛБТС кормления принимает решение о корректировке рационов кормления, отправляя дублирующий сигнал зоотехнику. В этом случае может работать только I контур локального управления без «захода» в БД и АРМ. Достаточно скорректировать рацион автоматически, знания специалистов не требуются, им можно отправить только SMS-сообщения в виде (I_{a1}^L, I_{a1}^K) . Аналогичным образом могут работать другие ЛБТС (микроклимат, навозоудаление). Например, меняются параметры микроклимата, повышается загазованность помещения (NH_3, CO_2, H_2S) при работающей системе навозоудаления, включается принудительная система вентиляции, удаляющая избыток вредных газов [15]. То же самое происходит при увеличении температуры воздуха, относительной влажности воздуха в помещении. Сигналы с датчиков животных и помещений поступают в соответствующие ЛБТС (кормления, микроклимата, навозоудаления) и они нормализуют ситуацию, увеличивая подачу воздуха, воды, корма и т.д. [16].

Если требуется вмешательство специалистов и локальный уровень взаимодействия не может исправить ситуацию, информационные сигналы проходят в автоматизированные рабочие места АРМ (ЧЭ, ЧП) и профильные специалисты принимают решение, осматривают животных, выделенных подсистемой в отдельные группы. В каждой локальной подсистеме формируется блок тестовых параметров. Измеряются отклонения текущих параметров биологических, машинных объектов и сравниваются с их тестовыми характеристиками, предельными значениями [17, 18]:

$$\begin{cases} \Delta[y_{ж1} \dots y_{жN}]^T \leq \Delta[y_{ж1} \dots y_{жN}]^{доп} \\ \Delta[x_{1p} \dots x_{np}]^T \leq \Delta[x_{1p} \dots x_{np}]^{доп} \\ \Delta[z_{m1} \dots z_{mN}]^T \leq \Delta[z_{m1} \dots z_{mN}]^{доп} \end{cases} \quad (4)$$

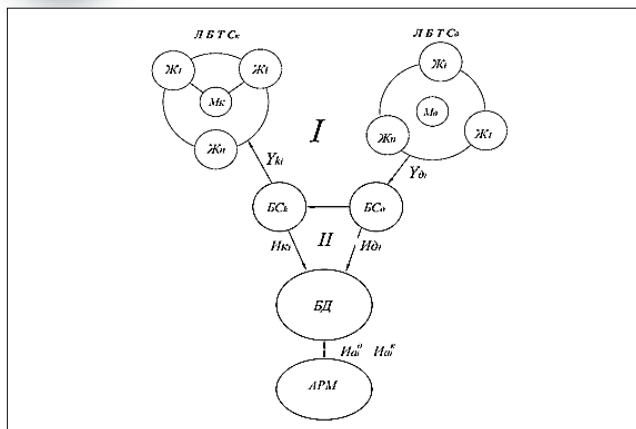


Рис. 2. Функционирование локальных BTS в частично автономном режиме мультиагентного управления:

$БС_k, БС_d$ – базовые станции, передающие сигнал соответственно к ЛБТС кормление и ЛБТС доение; U_{ai}^D, U_{ai}^K – управляющие адаптационные сигналы соответственно от (ЛБТС)_д, (ЛБТС)_к; I_{ai}^D, I_{ai}^K – информационные сигналы, передаваемые через БД (базы данных) на АРМ (ЧЭ, ЧП)

Fig. 2. Functioning of local BTS in partially Autonomous mode of multi-agent management:

$БС_k, БС_d$ – base stations that transmit a signal to LBTS feeding and lbts milking, respectively; U_{ai}^D, U_{ai}^K – control adaptive signals, respectively, from (LBTS)_д, (LBTS)_к; I_{ai}^D, I_{ai}^K – information signals transmitted through the database (database) on the arm (ChE, PE)

где $\Delta[y_{j1} \dots y_{jN}]^T, \Delta[y_{j1} \dots y_{jN}]^{доп}$ – соответственно текущие и допустимые отклонения контролируемых показателей биологических объектов (животных);

$\Delta[X_{1p} \dots X_{np}]^T, \Delta[X_{1p} \dots X_{np}]^{доп}$ – соответственно текущие и допустимые отклонения в режимах работы человека-оператора;

$\Delta[Z_{M1} \dots Z_{Mn}]^T, \Delta[Z_{M1} \dots Z_{Mn}]^{доп}$ – соответственно текущие и допустимые отклонения в работе «машинного» фактора.

Ввиду сложности и многообразия контролируемых показателей такое группирование даст возможность их отдельного изучения. К показателям первой группы $\Delta[y_{j1} \dots y_{jN}]$ могут быть отнесены показатели лактации: удои, Q_i , скорость молокоотдачи, V_i , продолжительность доения t_{di} , показатели общего развития (масса тела животных, соотношение жировой, костной, мышечной массы тела, размеры животных, его бонитировочные характеристики и др.).

К показателям здоровья животных могут быть отнесены количество соматических клеток в молоке, аномалии развития репродуктивных органов, конечностей и прочее.

Ко второй группе показателей, характеризующих работу человека-оператора, могут быть отнесены показатели продолжительности выполнения ручных операций по обслуживанию животного t_{po} , интенсивности выполненных ручных операций в единицу времени n_p ; энергоёмкости выполненных операций ε_p .

К группе показателей, характеризующих «машин-

ный» фактор, относятся продолжительность цикла обслуживания животных, расходные характеристики раздаваемых, получаемых материалов (корма, навоз, молоко и др.). Таким образом, на современном этапе развития BTS в животноводстве происходит преобразование трехзвенной системы в двухзвенную с поляризацией подсистем ЧЭ, ЧП и подсистемы МЖ (рис. 3).

Происходит поляризация подсистемы М–Ж в локальную машиноцентрическую модель ЛБТС, которая может функционировать с высокой степенью автономности, при этом «полномочия» ЧО передают машине, зона «влияния» антропоцентрического фактора (АЦФ) уменьшается, но одновременно возрастает уровень его интеллектуализации, поскольку ряд

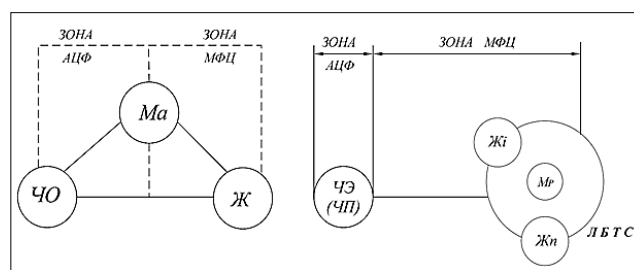


Рис. 3. Процесс преобразования автоматизированной BTS в роботизированную:

a – автоматизированная система ЧО–Ма–Ж; b – роботизированная система ЧЭ(ЧП) – (Мр–Ж)

Fig. 3. the process of converting an automated BTS into a robotic one:

a – automated system ChO–Ma–W; b – robotic system ChE (PE)–(Mr–W)

ручных операций, выполняемых ранее ЧО переходит к машине. Уровень интеллектуализации $V_{и}$ не следует путать с уровнем автоматизации V_{a} . Поскольку последний замещает только простые механические операции с ручным управлением. А уровень интеллектуализации включает уровень автоматизации плюс дополнительные визуально-аналитические функции человека-оператора, которые он всегда использовал при оценке взаимодействия подсистемы М–Ж.

Таким образом, формализация уровня интеллектуализации системы Ч–М–Ж может быть представлена:

$$U_{ч-м-ж}^{и} = U_{ч-м-ж}^a \wedge f [ЧО, y_{и1} \dots y_{ин}], \quad (5)$$

где $U_{ч-м-ж}^{и}, U_{ч-м-ж}^a$ – соответственно уровни интеллектуализации и автоматизации системы Ч–М–Ж; $\wedge$ – оператор дезъюнкции (логического сложения);

$f[ЧО, y_{и1} \dots y_{ин}]$ – функционал части простых интеллектуальных функций (ЧО), переданных машин (М). Уровень автоматизации V_a можно вычислить по известной зависимости:

$$U_{ч-м-ж}^a = \frac{K_{ч-м-ж}^a}{K_{ч-м-ж}^a + K_{ч-м-ж}^m}, \quad (6)$$



где $K_{ч-м-ж}^a$, $K_{ч-м-ж}^м$ – соответственно количество автоматизированных и количество механизированных операций в системе Ч–М–Ж.

В автоматизированной системе ЧО–М–Ж человек – оператор работает, непосредственно взаимодействуя с машиной и животным, выполняя известные функции и ручные операции. В роботизированной системе часть ручных и простых интеллектуальных функций ЧО передается машине M_p , а ЧЭ, ЧП остаются функции повышенного аналитического содержания (высокий интеллект, предсказание и др.).

Количество передаваемых машине человеком-оператором интеллектуальных визуально-аналитических операций постоянно увеличивается. Поэтому функционал, обобщающий эти функции, также стремительно возрастает [19]:

$$f=[ЧО, y_{1n} \dots y_{nn}] \rightarrow \max. \quad (7)$$

Человек-оператор не может объять необъятное, за всем уследить, особенно на крупной ферме, поэтому его задача уже как ЧЭ, ЧП анализировать отчеты, присылаемые с ЛБТС или отдельные «тревожные» сигналы от животных, и вмешиваться в процесс при

«угрожающих» нештатных ситуациях, связанных с аварийными режимами работы машины или болезнями животных и др. [20]. Необходимо рассматривать отдельно целые группы показателей, относящихся к составляющим сложной биомашсистемы, какой является современная молочная ферма.

Выводы. Современная автоматизированная или частично роботизированная молочная ферма представляет собой сложную многоуровневую биомашсистему, включающую частично или полностью автономно работающие локальные биотехнические подсистемы, выполняющие конкретные технологические процессы, подсистемы приема и передачи сигналов животных, машин (базовые станции), информационно-аналитический центр, в составе которого находятся автоматизированные рабочие места главных специалистов, принимающих управляющие решения по тем или иным ситуациям. Развитие биомашсистем в животноводстве базируется на основе расширяющейся машиноцентрической модели подсистемы М–Ж, которая вбирает в себя все больше интеллектуальных функций, переданных человеком; за последним сохраняется контроль, координация и управление всей системой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горячкин В.П. Земледельческая механика Ч. 1: Основы теории земледельческих машин и орудий: 1917-1918. М.: Кнво студентов Петров. с.-х. акад. 1919. 200 с.
2. Черноиванов В.И. Биомашсистемы. Теория и приложения. М.: Росинформагротех. 2016. 214 с.
3. Карташов Л.П., Соловьев С.А., Асманкин Е.Н., Макаровская З.В. Расчет исполнительных механизмов биотехнической системы. Екатеринбург: УрО РАН. 2002. 181 с.
4. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональных систем. М.: Наука. 1980. 196 с.
5. Попечителей Е.П. Проблемы синтеза биотехнических систем // *Научное обозрение. Технические науки*. 2016. N2. С. 54-62.
6. Черноиванов В.И., Судаков С.К., Толоконников Г.К. Биомашсистемы, функциональные системы и категорная теория систем // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2017. N2(26). С. 23-34.
7. Weibing W. Target Detection And Analysis of Intelligent Agricultural Vehicle Movement Obstacle Based on Panoramic Vision. *Inmateh-Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 58. N3.
8. Архипов А.Г., Косогор С.Н., Моторин О.А., Горбачев М.И., Суворов Г.А., Труфляк Е.В. Цифровая трансформация сельского хозяйства России. М.: Росинформагротех. 2019. 80 с.
9. Доронин А.М., Романов Д.А., Романов М.А. Человеко-машинное взаимодействие и его показатели // *Вестник Адыгейского ГУ*. 2005. N4. С. 244-250.
10. Raju K. L., Vijayaraghavan V. IoT Technologies in Agricultural Environment: A Survey. *Wireless Personal Communica-*

tions. 2020.

11. Петрин К.В., Теряев Р.Д., Филимонов А.Б., Филимонов Н.Б. Технологии в эргатических системах управления // *Известия Южного Федерального университета. Технические науки*. 2010. N3. С. 7-13.
12. Фисинин В.И., Лачуга Ю.Ф., Жученко А.А., Иванов А.Л., Ушачев И.Г., Ежевский А.А., Краснощеклов Н.В., Черноиванов В.И., Измайлов А.Ю., Стребков Д.С., Попов В.Д. Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства на период до 2020 года. М.: Росинформагротех. 2009. 80 с.
13. Voutos Y. et al. A survey on intelligent agricultural information handling methodologies. *Sustainability*. 2019. Vol. 11. N12. 3278.
14. Yang H. et al. Experimental analysis and evaluation of wide residual networks based agricultural disease identification in smart agriculture system. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2019. Vol. 2019. N1. 1-10.
15. Mylostyyvi R.V. et al. Ecological substantiation of the normalization of the state of the air environment in the uninsulated barn in the hot period. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. N3. 84-91.
16. Jovović V. et al. 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.
17. Salimi M., Pourdarbani R., Nouri B. A. Factors Affecting the Adoption of Agricultural Automation Using Davis's Acceptance Model (Case Study: Ardabil). *Acta Technologica Agriculturae*. 2020. Vol. 23. N1. 30-39.
18. Mahalakshmi J. et al. IoT Sensor-Based Smart Agricultural System. *Emerging Technologies for Agriculture and Environ-*

ment. Springer. Singapore. 2020. 39-52.

19. 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.

20. Дозорцев В.М. Заметки о моде и человеке в промышленной автоматизации // Автоматизация в промышленности. 2011. N2. С. 32-34.

REFERENCES

- Goryachkin V.P. Zemlel'dcheskaya mekhanika CH. 1: Osnovy teorii zemlel'dcheskikh mashin i orudiy: 1917-1918 [Agricultural mechanics. Ch. 1: Fundamentals of agricultural machines and tools: 1917-1918]. Moscow: Kn-vo studentov Petrov. s.-kh. akad. 1919. 200 (In Russian).
- Chernoivanov V.I. Biomashsistemy. Teoriya i prilozheniya [Biomachine systems. Theory and applications]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2016. 214 (In Russian).
- Kartashov L.P., Solov'ev S.A., Asmankin E.N., Makarovskaya Z.V. Raschet ispolnitel'nykh mekhanizmov biotekhnicheskoy sistemy [Calculation of executive mechanisms of a biotechnical system]. Ekaterinburg: UrO RAN. 2002. 181 (In Russian).
- Anokhin P.K. Uzlovye voprosy teorii funktsional'nykh sistem [Nodal issues of the functional system theory]. Moscow: Nauka. 1980. 196 (In Russian).
- Popechitelev E.P. Problemy sinteza biotekhnicheskikh sistem [Problems of synthesis of biotechnical systems]. *Nauchnoe obozreniye. Tekhnicheskkiye nauki*. 2016. N2. 54-62 (In Russian).
- Chernoivanov V.I., Sudakov S.K., Tolokonnikov G.K. Biomashsistemy, funktsional'nye sistemy i kategor'naya teoriya sistem [Biomachine, functional systems and categorical systems theory]. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2017. N2(26). 23-34 (In Russian).
- Weibing W. Target Detection And Analysis of Intelligent Agricultural Vehicle Movement Obstacle Based on Panoramic Vision. *Inmateh-Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 58. N3.
- Arkhipov A.G., Kosogor S.N., Motorin O.A., Gorbachev M.I., Suvorov G.A., Truflyak E.V. TSifrovaya transformatsiya sel'skogo khozyaystva Rossii [Digital transformation of Russian agriculture]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2019. 80 (In Russian).
- Doronin A.M., Romanov D.A., Romanov M.A. Cheloveko-mashinnoe vzaimodeystvie i ego pokazateli [Human-machine interaction and its indicators]. *Vestnik Adygeyskogo GU*. 2005. N4. 244-250 (In Russian).
- Raju K. L., Vijayaraghavan V. IoT Technologies in Agricultural Environment: A Survey. *Wireless Personal Communications*. 2020.
- Petrin K.V., Teryaev R.D., Filimonov A.B., Filimonov N.B. Tekhnologii v ergaticheskikh sistemakh upravleniya [Technologies in ergatic control systems]. *Izvestiya Yuzhnogo Federal'nogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki*. 2010. N3. 7-13 (In Russian).
- Fisinin V.I., Lachuga Yu.F., Zhuchenko A.A., Ivanov A.L., Ushachev I.G., Ezhevskiy A.A., Krasnoshchekov N.V., Chernoivanov V.I., Izmaylov A.Yu., Strebkov D.S., Popov V.D. Strategiya mashinno-tehnologicheskoy modernizatsii sel'skogo khozyaystva na period do 2020 goda [Strategy of machine and technological modernization of agriculture up to 2020]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2009. 80 (In Russian).
- Voutos Y. et al. A survey on intelligent agricultural information handling methodologies. *Sustainability*. 2019. Vol. 11. N12. 3278.
- Yang H. et al. Experimental analysis and evaluation of wide residual networks based agricultural disease identification in smart agriculture system. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2019. Vol. 2019. N1. 1-10.
- Mylostyvyi R.V. et al. Ecological substantiation of the normalization of the state of the air environment in the uninsulated barn in the hot period. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2019. Vol. 9. N3. 84-91.
- Jovović V. et al. 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.
- Salimi M., Pourdarbani R., Nouri B. A. Factors Affecting the Adoption of Agricultural Automation Using Davis's Acceptance Model (Case Study: Ardabil). *Acta Technologica Agriculturae*. 2020. Vol. 23. N1. 30-39.
- Mahalakshmi J. et al. IoT Sensor-Based Smart Agricultural System. *Emerging Technologies for Agriculture and Environment*. Springer. Singapore. 2020. 39-52.
- 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.
- Dozortsev V.M. Zаметки о моде и человеке в промышленной автоматизации [Notes on fashion and man in industrial automation]. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*. 2011. N2. 32-34 (In Russian).

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 18.08.2020
The paper was submitted
to the Editorial Office on 18.08.2020

Статья принята к публикации 02.09.2020
The paper was accepted
for publication on 02.09.2020