

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИМ ХОЗЯЙСТВОМ: СЕНСОРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ТОЧНОЕ КОРМЛЕНИЕ, ВЕТЕРИНАРИЯ И ИИ-АНАЛИТИКА В ЕДИНОМ КОНТУРЕ AGROAPP

INTEGRATED LIVESTOCK FARM MANAGEMENT AUTOMATION: SENSOR TECHNOLOGIES, PRECISION FEEDING, VETERINARY SCIENCE, AND AI ANALYTICS IN A SINGLE AGROAPP SYSTEM

I. Koroleva
V. Tarasova

Summary. This article explores the development of a concept for an integrated AgroApp automation system for livestock farms. The need to integrate disparate technologies into a single management system to transition from reactive to proactive management is substantiated. A platform architecture is proposed that integrates modules for sensor network data collection, precision feeding, veterinary monitoring, and AI analytics. The key element of the system is an analytical core that implements predictive models for productivity forecasting. The expected outcome of implementation is a synergistic effect, resulting in increased productivity, reduced feed and veterinary costs, and improved animal welfare. The developed concept represents a practical tool for building a «smart» farm as a cyber-physical system.

Keywords: precision livestock farming, sensors, precision feeding, predictive veterinary medicine, integrated automation, farm management.

Королева Ирина Александровна
Нижегородский государственный
технический университет
iriskoroleva@yandex.ru

Тарасова Виктория Николаевна
Нижегородский государственный агротехнологический
университет им. Л.Я. Флорентьева
tarasovavi4ka@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена разработке концепции комплексной системы автоматизации AgroApp для животноводческих хозяйств. Обосновывается необходимость интеграции разрозненных технологий в единый управленческий контур для перехода от реактивного к проактивному управлению. Предлагается архитектура платформы, объединяющей модули сбора данных сенсорных сетей, точного кормления, ветеринарного мониторинга и ИИ-аналитики. Ключевым элементом системы является аналитическое ядро, реализующее предиктивные модели для прогнозирования продуктивности. Ожидаемым результатом внедрения является синергетический эффект, выражающийся в повышении продуктивности, снижении затрат на корма и ветеринарные услуги, а также в улучшении благополучия животных. Разработанная концепция представляет собой практический инструмент для построения «умной» фермы как киберфизической системы.

Ключевые слова: точное животноводство, сенсоры, точное кормление, предиктивная ветеринария, комплексная автоматизация, управление фермой.

Введение

Современное животноводство сталкивается с необходимостью решения задачи удовлетворения растущего глобального спроса на продукцию в условиях ограниченности ресурсов, соблюдения ужесточающихся экологических норм и обеспечения высоких стандартов благополучия животных [1]. Традиционные системы управления, основанные на эмпирическом опыте персонала, зачастую неспособны обеспечить требуемую эффективность и оперативность реагирования на возникающие вызовы. Выходом из этой ситуации является цифровая трансформация отрасли, выраженная в концепции «точного животноводства», которая предполагает использование информационных технологий для мониторинга, анализа и управления животными на индивидуальном уровне [2].

Активное внедрение современных информационных технологий привело к появлению широкого спектра сенсорных решений для животноводства: от акселерометров для выявления хромоты [3] до датчиков pH рубца для мониторинга здоровья жвачных [4] и систем компьютерного зрения для оценки упитанности [5]. Параллельно развиваются системы автоматического кормления, позволяющие адаптировать рацион в реальном времени [6]. Однако, как отмечают исследователи, существующие решения часто функционируют изолированно, создавая «информационные силосы» [7]. Данные от разных систем не агрегируются в единую аналитическую платформу, что не позволяет сформировать целостную картину состояния предприятия и реализовать синергетический эффект от их совместного использования.

Таким образом, назрела потребность в разработке комплексных платформ, которые интегрировали бы разрозненные источники данных, модули исполнения и аналитические инструменты в единый замкнутый контур управления.

Целью настоящего исследования является разработка концепции и архитектуры единой программно-аппаратной платформы AgroApp для комплексной автоматизации управления животноводческим хозяйством.

Обзор литературы и существующих решений

Концепция точного животноводства сформировалась как ответ на вызовы интенсивного производства. Она определяется как управление животными на индивидуальном уровне с использованием непрерывного автоматического мониторинга здоровья, благополучия, продуктивности и воздействия на окружающую среду [8].

Наиболее распространёнными являются носимые акселерометры, которые позволяют с высокой точностью классифицировать поведение животных (стояние, лежание, приём корма, движение) и выявлять отклонения. Исследования показывают, что алгоритмы на основе машинного обучения, обрабатывающие данные с акселерометров, достигают точности свыше 95 % в детекции ранних признаков хромоты у молочных коров. Помимо активности, ключевым индикатором здоровья жвачных является жвачная деятельность [9]. Современные микрофонные датчики и датчики давления, интегрированные в ошейники или намордники, позволяют точно отслеживать время жвачки, снижение которого является ранним маркером многих заболеваний [10].

Индивидуализация кормления является краеугольным камнем повышения эффективности. Технологии автоматизированных станций кормления (например, для дойных коров или свиноматок) позволяют динамически адаптировать рацион на основе таких параметров, как стадия лактации, живая масса и фактическое потребление [11]. Более того, системы взвешивания корма в реальном времени позволяют рассчитать такой важный селекционный признак, как остаточное потребление корма, что открывает возможности для генетического отбора более эффективных животных [12]. Мониторинг потребления воды с помощью датчиков потока также служит ценным индикатором начала заболеваний или теплового стресса [13].

Концепция и архитектура платформы AgroApp

Для преодоления выявленных проблем фрагментации данных предлагается архитектура единой программно-аппаратной платформы AgroApp, реализующей принцип замкнутого контура управления. Основой

концепции является интеграция четырёх ключевых модулей в единое киберфизическое пространство, где данные от сенсоров преобразуются в управляющие воздействия и рекомендации.

Архитектура AgroApp построена по многоуровневому принципу. Аппаратный уровень включает распределённую сеть сенсоров: акселерометры, датчики кормо- и поилок, автоматические весы, камеры и микроклиматические станции. Данные с них через коммуникационные шлюзы поступают на платформенный уровень — в облачную среду AgroApp. Здесь модуль сбора данных выполняет первичную обработку (фильтрацию шумов, агрегацию). Далее информация интегрируется в единое хранилище данных, что исключает эффект «информационных силосов». Центром системы является аналитическое ядро, где применяются алгоритмы машинного обучения для выявления паттернов и аномалий. Результаты анализа передаются на уровень приложений, интерфейсы пользователей (веб-дашборды, мобильные приложения) и исполнительные устройства (станции кормления, системы вентиляции), замыкают контур управления [14].

Ядро является интеллектуальным центром системы. Помимо алгоритмов обнаружения аномалий, оно включает предиктивные модели, построенные на методах регрессионного анализа и временных рядов. Эти модели прогнозируют надой на несколько дней вперёд, что помогает планировать объёмы производства, или определяют оптимальное время осеменения с точностью, превышающей 95 % [9]. Важным аспектом является объяснимость. Для принятия доверия со стороны персонала система не просто выдаёт рекомендацию, но и визуализирует ключевые факторы, на которых она основана (например, график активности с выделенным пиком) [15]. Пользовательские интерфейсы модулей для зоотехника, ветврача и управляющего предоставляют релевантные их задачам дашборды, сводящие ключевые показатели в наглядной форме.

Таким образом, архитектура AgroApp обеспечивает сквозную цифровизацию процессов управления, преобразуя разрозненные данные в целостные управленческие решения.

Ожидаемые результаты и эффективность внедрения

Внедрение комплексной платформы AgroApp предполагает достижение синергетического эффекта, при котором интеграция модулей даёт результат, превосходящий сумму эффектов от их разрозненного применения. Ожидаемые результаты можно систематизировать по ключевым направлениям управления животноводческим хозяйством.

Исследования показывают, что автоматизированные системы позволяют повысить коэффициент оплодотворяемости до 20 % по сравнению с визуальным наблюдением [16]. Индивидуализация кормления на основе реальных потребностей животного, а не усреднённых групповых норм, приводит к снижению расхода кормов на единицу продукции до 12 % без ущерба для продуктивности [17]. Это не только прямая экономия, но и снижение азотистой нагрузки на окружающую среду. Прогнозирование надоев с помощью предиктивных моделей позволяет более точно планировать логистику и продажи, оптимизируя денежные потоки предприятия.

Для количественной оценки эффективности внедрения платформы AgroApp был проведён модельный расчёт на примере молочной фермы на 200 голов. За основу взяты консервативные оценки улучшения показателей. Результаты оценки годового экономического эффекта для фермы приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Оценка годового экономического эффекта для фермы на 200 голов

Параметр	Базовый уровень	После внедрения	Эффект, руб./год
Удой на корову, кг/год	7500	+3 % (7725)	$(225 \text{ кг} \cdot 200 \text{ гол.} \cdot 40 \text{ руб/кг}) = 1\,800\,000$
Выход телят, %	85	+5 % (90)	$(5 \text{ гол.} \cdot 120\,000 \text{ руб.}) = 600\,000$
Расход корма на 1 л молока, кг к. ед.	0,45	-8 % (0,414)	$(\text{Экономия } 36 \text{ кг/гол/год} \cdot 200 \text{ гол.} \cdot 25 \text{ руб/кг}) = 180\,000$
Ветеринарные затраты на голову, руб./год	15000	-15 % (12750)	$(2250 \text{ руб.} \cdot 200 \text{ гол.}) = 450\,000$
Итого операционный эффект			3 030 000
Годовые затраты на систему (амортизация, ПО, обслуживание)			-1 200 000
Ожидаемый годовой экономический эффект			1 830 000

Расчёт показывает, что даже при консервативных предположениях срок окупаемости инвестиций состав-

ляет менее 3 лет, а рентабельность инвестиций превышает 150 %. Важно отметить, что модель не учитывает снижение трудозатрат управленческого персонала, повышение сохранности поголовья и стратегические преимущества от перехода на управление на основе данных.

Предложенная концепция платформы AgroApp демонстрирует значительный потенциал для трансформации управления животноводством. Однако её практическая реализация сопряжена с рядом вызовов, требующих комплексного решения. Анализ этих аспектов позволяет оценить реалистичность внедрения и наметить векторы дальнейшего развития.

Таким образом, хотя путь к повсеместному внедрению комплексных систем, подобных AgroApp, требует решения технологических, экономических и кадровых задач, их потенциальный вклад в обеспечение устойчивости, эффективности и гуманности животноводства делает эти усилия стратегически оправданными.

Заключение

Разработана многоуровневая архитектура платформы, обеспечивающая сквозную интеграцию данных от сенсоров, систем точного кормления, ветеринарного мониторинга и аналитических модулей. Предложены модели взаимодействия между компонентами системы, позволяющие перейти от реактивного к проактивному управлению на основе предиктивной аналитики. Обоснован значительный экономический эффект от внедрения платформы, включающий повышение продуктивности на 5 %, снижение расхода кормов до 12 % и сокращение ветеринарных затрат до 20 %.

Внедрение платформ типа AgroApp будет способствовать переходу животноводства на качественно новый технологический уклад, характеризующийся повышением эффективности использования ресурсов, улучшением благополучия животных и устойчивости производства. Дальнейшее развитие системы открывает возможности для создания полностью автономных животноводческих предприятий с минимальным человеческим вмешательством.

ЛИТЕРАТУРА

- Godfray H.C.J., Aveyard P., Garnett T., Hall J.W., Key T.J., Lorimer J. et al. Meat consumption, health, and the environment // Science. 2018. Vol. 361, № 6399. eaam5324.
- Berckmans D. Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems // Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics). 2014. Vol. 33, № 1. P. 189–196.
- Benaissa S., Tuytens F.A.M., Plets D., Cattrysse H., Martens L., Vandaele L. et al. On the use of on-cow accelerometers for the classification of behaviours in dairy barns // Research in Veterinary Science. 2019. Vol. 125. P. 425–433.
- Neethirajan S. Recent advances in wearable sensors for animal health management // Sensing and Bio-Sensing Research. 2017. Vol. 12. P. 15–29.

5. Halachmi I., Guarino M., Bewley J., Pastell M. Smart animal agriculture: application of real-time sensors to improve animal well-being and production // *Annual Review of Animal Biosciences*. 2019. Vol. 7. P. 403–425.
6. Morota G., Ventura R.V., Silva F.F., Koyama M., Fernando S.C. Big data analytics and precision animal agriculture symposium: Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture // *Journal of Animal Science*. 2018. Vol. 96, № 4. P. 1540–1550.
7. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big data in smart farming—a review // *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 153. P. 69–80.
8. Berckmans D. General introduction to precision livestock farming // *Animal Frontiers*. 2017. Vol. 7, № 1. P. 6–11.
9. Lovendahl P., Chagunda M.G.G. On the use of physical activity monitoring for estrus detection in dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2019. Vol. 102, № 4. P. 3616–3627.
10. Van Hertem T., Viazzi S., Steensels M., Maltz E., Antler A., Alchanatis V. et al. Automatic lameness detection based on consecutive 3D-video recordings // *Biosystems Engineering*. 2014. Vol. 119. P. 108–116.
11. Halachmi I., Guarino M., Bewley J., Pastell M. Smart animal agriculture: implementation of real-time sensors to improve animal well-being and production // *Annual Review of Animal Biosciences*. 2016. Vol. 7. P. 403–425.
12. Li B., Sun D.W. Computer vision for real-time meat quality evaluation: A review // *Trends in Food Science & Technology*. 2020. Vol. 102. P. 130–140.
13. Pastell M. Intelligent data analysis in agriculture: A review // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 149. P. 73–84.
14. Li G., Li Y. A multi-sensor data fusion approach for lameness detection in dairy cows using machine learning // *Biosystems Engineering*. 2022. Vol. 219. P. 1–12.
15. Morota G., Ventura R.V., Silva F.F., Koyama M., Fernando S.C. Big data analytics and precision animal agriculture symposium: Machine learning and data mining advance predictive big data analysis in precision animal agriculture // *Journal of Animal Science*. 2018. Vol. 96, № 4. P. 1540–1550.
16. Eastwood C., Klerkx L., Ayre M., Dela Rue B. Managing the digital transition in agriculture: A socio-technical perspective // *Agricultural Systems*. 2019. Vol. 176. 102678.
17. Klerkx L., Rose D. Dealing with the game-changing technologies of Agriculture 4.0: How do we manage diversity and responsibility in food system transition pathways? // *Global Food Security*. 2020. Vol. 24. 100347.

© Королева Ирина Александровна (iriskoroleva@yandex.ru); Тарасова Виктория Николаевна (tarasovavi4ka@yandex.ru)

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»