МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Российский научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований по инженерно-техническому
обеспечению агропромышленного комплекса»
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Аналитический обзор

Москва 2021

Техника и оборудование для села

Сельхозпроизводство ❁ Переработка ❁ Агротехсервис ❁ Агробизнес

ЖУРНАЛ «ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ СЕЛА» – ВАШ ПОМОЩНИК В НАУЧНОЙ, ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ, УПРАВЛЕНЧЕСКОЙ И УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ!

Ежемесячный полнокрасочный научно-производственный и информационно-аналитический журнал «Техника и оборудование для села», учредителем и издателем которого является ФГБНУ «Росинформагротех», выпускается с 1997 г. при поддержке Минсельхоза России. За это время журнал стал одним из ведущих изданий в отрасли и как качественное и общественно значимое периодическое средство массовой информации в 2008, 2009 и 2011 гг. удостоен знака отличия «Золотой фонд прессы». В редакционный совет журнала входят 8 академиков РАН и один академик НАН Республики Казахстан.

В журнале освещаются актуальные проблемы технической и технологической модернизации АПК: инновационные проекты, технологии и оборудование, энергосбережение и энергоэффективность; механизация, электрификация и автоматизация производства и переработки сельхозпродукции; агротехсервис; аграрная экономика; информатизация в АПК; развитие сельских территорий; технический уровень сельскохозяйственной техники; возобновляемая энергетика и др.

Журнал является постоянным участником большинства международных и российских выставок, конференций и других крупных мероприятий в области АПК, проходящих в России, неоднократно отмечался почетными грамотами, дипломами и медалями (более 10).

Журнал включен в международную базу данных AGRIS ФАО ООН, Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученных степеней кандидата и доктора наук, входит в ядро РИНЦ и базу данных RSCI.

Регионы распространения журнала: Центральный, Центрально-Черноземный, Поволжский, Северо-Кавказский, Уральский, Западно-Сибирский, Восточно-Сибирский, Северный, Северо-Западный, Калининградская область, а также государства СНГ (Украина, Беларусь, Казахстан).

Индекс в объединенном каталоге «Пресса России» – 42285.

Стоимость подписки на 2021 г. с доставкой по Российской Федерации – 9636 руб. с учетом НДС (10%).

Приглашаем разместить в журнале «Техника и оборудование для села» информационные (рекламные) материалы, соответствующие целям и профилю журнала.

Подписку и размещение рекламы можно оформить через ФГБНУ «Росинформагротех» с любого месяца, на любой период, перечислив деньги на наш расчетный счет.

Банковские реквизиты: УФК по Московской области (Отдел № 28 Управления Федерального казначейства по МО)
ИНН 5038001475/КПП 503801001
ФГБНУ «Росинформагротех», л/с 20486Х71280,
Единый казначейский счет 40102810845370000004
Казначейский счет 03214643000000014800 в ГУ Банка России по ЦФО // УФК по Московской области, г. Москва, БИК 004525987
В назначении платежа указать
код КБК (000 0000 0000000 000 440), ОКТМО 46758000.

Адрес редакции: 141261, Московская обл., пос. Правдинский, ул. Лесная, 60, Росинформагротех, журнал «Техника и оборудование для села».
Справки по телефонам: (495), 993-44-04, (496) 531-19-92;
E-mail: r_technica@mail.ru, fgnu@rosinformagrotech.ru

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Российский научно-исследовательский институт информации
и технико-экономических исследований по инженерно-
техническому обеспечению агропромышленного комплекса»
(ФГБНУ «Росинформагротех»)

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Аналитический обзор

Москва 2021

УДК 004.9:338.43
ББК 40.7:32.81
Б 90

Рецензенты:
В.Л. Снежко, зав. кафедрой информационных технологий
в АПК Института мелиорации, водного хозяйства и строительства
им. А.Н. Костякова, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,
д-р техн. наук, проф.;
Н.М. Морозов, акад. РАН (ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)

Б 90 **Буклагин Д.С., Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Соловьев С.А., Балабанов В.И. Цифровые технологии и системы управления сельскохозяйственным производством**: аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 88 с.

ISBN 978-5-7367-1658-6

Приведены цифровые решения, лежащие в основе современных систем управления и оптимизации технологических процессов в сельском хозяйстве, позволяющие получать необходимую для принятия решения информацию, оптимизировать ресурсы и снижать себестоимость продукции. Рассмотрены основные тренды развития цифровизации растениеводства и животноводства по управлению производством продукции, интеллектуализации сельскохозяйственной техники, применению спутниковых технологий прогнозирования урожайности.

Предназначен для специалистов агропромышленного комплекса, научных работников, преподавателей и студентов образовательных учреждений и лиц, принимающих решения по управлению сельскохозяйственным производством.

Buklagin, D.S., Mishurov, N.P., Fedorenko, V.F., Soloviev, S.A., Balabanov, V.I. *Digital Technologies and Agricultural Production Management Systems: An analytical Overview* (Moscow: Rosinformagrotekh) 88 (2021)

Digital solutions are presented that underlie current management and optimization systems for production processes in agriculture, which make it possible to obtain the information necessary for decision-making, optimize resources and reduce the cost of production. The main trends in the development of digitalization of crop and livestock production in terms of production management, intellectualization of agricultural equipment, and the use of satellite technologies for forecasting yield are discussed.

It is intended for specialists in the agribusiness, researchers, teachers and students of educational institutions and decision-makers in the management of agricultural production.

УДК 004.9:338.43
ББК 40.7:32.81

ISBN 978-5-7367-1658-6

© ФГБНУ «Росинформагротех», 2021

ВВЕДЕНИЕ

Применение современных управленческих технологий, построенных на перспективных цифровых моделях организации сельскохозяйственных производства, и широкая интеллектуализация сельскохозяйственных процессов становятся неотъемлемой частью современного аграрного бизнеса России [1, 2].

Указом Президента Российской Федерации «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» от 7 мая 2018 г. поставлена задача преобразования приоритетных отраслей экономики и социальной сферы, в том числе сельского хозяйства, за счет внедрения цифровых технологий и платформенных решений, позволяющих снизить расходы не менее чем на 23% при внедрении комплексного подхода [3].

Цифровая трансформация сельского хозяйства и использование цифровых технологий в практике агробизнеса позволяют получать ранее недоступные данные и необходимую информацию для принятия управленческих решений, оптимизировать ресурсы и снижать себестоимость продукции. Цифровые технологии получения и обработки данных включают в себя сенсоры, коммуникационное оборудование, системы хранения и агрегирования информации, различные аналитические приложения для оптимизации управления технологическими процессами [4].

Анализ отечественного и международного опыта показывает, что применение цифровых технологий является одним из важных факторов, обеспечивающих рост производительности труда, ресурсосбережения, устойчивость производства продуктов питания и сельскохозяйственного сырья, снижение потерь продукции в процессе производства, транспортировки, хранения и реализации.

Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство», разработанный Минсельхозом России, предусматривает за счет освоения цифровых технологий и платформенных решений обеспечение к 2024 г. технологического прорыва в АПК и рост производительности труда на сельскохозяйственных предприятиях, использующих цифровые технологии, в 2 раза [1].

В настоящее время сельское хозяйство становится высокотехнологичным сектором экономики, где обрабатываются потоки больших данных, поступающих от различных датчиков, установленных в поле, на животноводческой ферме, тракторах, комбайнах и другой сельскохозяйственной технике, от метеорологических станций, спутников, беспилотных летательных аппаратов и других систем.

Аналитическая обработка этих данных дает возможность получать качественно новую информацию, позволяющую автоматизировать технологические процессы, находить закономерности и варианты оптимальных решений по повышению производительности труда и эффективности сельскохозяйственного производства, созданию добавочной стоимости, улучшающие работу агробизнеса.

1. СОСТОЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

Исследования показывают, что повышение эффективности сельского хозяйства благодаря использованию традиционных методов и ресурсов значительно ограничены. В то же время имеются большой резерв повышения эффективности сельскохозяйственного производства в 3-5 раз и потенциал роста оборота отрасли за счет внедрения цифровых технологий и освоения современных цифровых платформ на различных уровнях управления сельскохозяйственным производством.

По экспертной оценке, в течение сезона фермеру приходится в ограниченные промежутки времени принимать более 40 различных решений, влияющих на экономику производства, которые можно оптимизировать с помощью цифровизации. При этом цифровые технологии используются недостаточно, их применяют только на 5-10% посевных площадей, на 1 тыс. человек, занятых в сельском хозяйстве, приходится только один ИТ-специалист [5].

Цифровизация и автоматизация максимального количества сельскохозяйственных процессов являются стратегией развития ведущих агропромышленных компаний мира. С помощью IT-технологий и автоматизации можно решить многие задачи, постоянно возникающие в длинной цепи производства и реализации продукции сельского хозяйства. Решение таких задач связано со значительным увеличением объема получаемых и обрабатываемых данных, повышением достоверности выводов, которые лежат в основе принятия технологических и управленческих решений.

Основу «цифрового АПК» составляет интеллектуализация всех технологических процессов сельскохозяйственного производства – от получения статистических показателей до модерирования всей цепочки создания стоимости, улучшения качества и сбыта продукции, оценки прибыли.

Наметившийся прорыв в цифровизации аграрного производства обусловлен следующими факторами [6-9]:

- развитие датчиков и устройств, передающих и обрабатывающих текущие показатели, характеризующие состояние каждого объ-

екта управления (параметры почвы, растений, микроклимата, характеристики животных и др.);

- интеграция получаемых данных с различными интеллектуальными ИТ-приложениями, производящими их обработку в режиме реального времени, для выработки обоснованных рекомендаций и принятия решений специалистами сельского хозяйства;
- возросшая производительность компьютеров, развитие программного обеспечения, облачных, сетевых и интернет-технологий, позволяющих автоматизировать большинство сельскохозяйственных процессов на основе создания и анализа цифровых моделей функционирования всех взаимосвязанных звеньев, участвующих в цепочке создания стоимости продукции;
- рост числа пользователей, подключенных в единую сеть, обменивающихся данными через облако;
- использование бесшовных каналов коммуникаций для передачи информации.

Важно отметить, что наметившийся прорыв в цифровизации аграрного производства обусловлен тем, что технологические аграрные компании, работая совместно с IT-специалистами, научились контролировать технологические процессы в растениеводстве и животноводстве за счет применения устройств, которые измеряют, обрабатывают и передают с использованием бесшовных каналов коммуникаций текущие показатели, характеризующие состояние каждого объекта управления (плодородие почвы, развитие растений, характеристики микроклимата и др.).

Это стало возможным благодаря совершенствованию компьютерной техники и программного обеспечения, развитию облачных, сетевых и интернет-технологий, которые лежат в основе автоматизации большинства сельскохозяйственных процессов и создания цифровых моделей функционирования всех взаимосвязанных звеньев, участвующих в цепочке формирования стоимости продукции, планирования работы, принятия управляющих воздействий по снижению потерь, прогнозированию урожайности, оценке себестоимости производства и прибыли [9].

Первыми осваивать автоматизированные системы управления стали крупные сельскохозяйственные предприятия, в основе кото-

рых – использование технологий интернета вещей, роботов, обработка больших сельскохозяйственных данных с помощью инновационного программного обеспечения, организация трансфера достижений передовых зарубежных практик.

Средние сельскохозяйственные предприятия, активно внедряющие новые технологии, также перспективны для использования AIoT-решений в сельскохозяйственном производстве.

Цифровые технологии, повышающие эффективность сельскохозяйственного производства и способствующие улучшению контроля и надзора ведения хозяйства, уже успешно применяются в ряде агрокомплексов Подмосковья, в Липецкой, Белгородской, Ростовской областях, Краснодарском крае и других регионах России [5, 9-11].

Проводится работа по «оцифровке полей», агрохимического анализа плодородия почв с помощью автоматизированных пробоотборников, с использованием геоинформационных систем, создаются цифровые карты и электронные паспорта полей, на которых нанесены дороги, склоны, водотоки и другая информация.

Спутниковые технологии и беспилотные летательные аппараты позволяют агрономам получать оперативную информацию об очагах сорняков и вредителей, выявлять готовность поля к посевной и уборке, осуществлять мониторинг состояния посевов, прогнозировать урожайность сельскохозяйственных культур, оценивать качество выполняемых работ, проводить инвентаризацию земель сельскохозяйственного назначения и др.

В хозяйствах Свердловской области, например, начала внедряться инновационная система беспилотного управления комбайном, которая не уступает зарубежным аналогам по точности позиционирования и даже превосходит их по эксплуатационным возможностям. Более 50 тыс. комбайнов, которые производит «Ростсельмаш», оснащены такими устройствами.

Таким образом, можно считать, что российскими разработчиками уже созданы конкретные технологические решения и продукты для «умного» сельского хозяйства.

Главным катализатором цифровизации АПК является интернет вещей – кибер-физические системы для управления сельскохозяйственной техникой, теплицами, инструментами и др. По экспертной оцен-

ке, внедрение интернета вещей в сельском хозяйстве к 2025 г. будет иметь огромный экономический эффект – около 469 млрд руб. [12].

В Минсельхозе России создана Единая федеральная информационная система земель сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН), которая наполняется актуальными и достоверными данными об эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения, включая информацию об использовании каждого земельного участка по регионам страны, о сельскохозяйственной культуре, состоянии и развитии растительности, прогнозировании урожайности и другими показателями в реальном времени. Получение этой информации в значительной степени будет базироваться на спутниковых технологиях.

Наряду с мониторингом состояния земель сельскохозяйственного назначения планируется создание совместно с Роскосмосом и Росгидрометом единой базы снимков из космоса и климатических данных. Это позволит к 2021 г. внедрить интеллектуальное отраслевое планирование в 85 субъектах Российской Федерации (100%) по принципу выращивания наиболее рентабельных культур с учетом транспортировки продукции к месту переработки или потребления.

Для выявления проблем, сдерживающих развитие цифровых технологий, определения наиболее приоритетных направлений государственной поддержки цифровизации АПК разработаны специализированные индексы для оценки степени проникновения цифровых технологий в АПК, предусматривается объединение информационных ресурсов Минсельхоза России с базами Росреестра, Роскосмоса, ФНС России и других ведомств, что позволит формировать более точные прогнозы [13-15].

Минсельхозом России разработана государственная информационная система прослеживаемости семенного материала, которая должна сократить «серый» рынок семян, достигающий 40%, и за счет усиления контроля повысить их качество; разрабатывается проект сопровождения сельскохозяйственной продукции на экспорт на основе безбумажной технологии (цифровой платформы «От поля до порта»). Прогнозируется, что к 2021 г. 100% сельскохозяйственной продукции на экспорт будет сопровождаться безбумажной технологией.

В ближайшем будущем цифровые технологии должны стать неотъемлемой частью всех направлений сельскохозяйственного производства, начиная от планирования посевов, автоматизации поливов, прогнозирования урожайности, оптимизации севооборотов и состава кормов для животных и др.

Цифровая трансформация сельского хозяйства направлена на решение следующих задач: повышение производительности труда и экспортной выручки, ускорение экономических темпов роста, рост доходов сельхозпроизводителей.

Ожидаемыми результатами цифровой трансформации сельского хозяйства являются рост вклада в экономику в 2024 г. до 5,9 трлн руб., а экспортной выручки предприятий – до 45 млрд долл., повышение эффективности управления [5].

В направлении цифровой трансформации выделяются пять основных моментов в области «умного сельского хозяйства», предполагающие внедрение в субъектах Российской Федерации не менее пяти проектов полного инновационного комплексного научно-технического цикла сквозных цифровых систем классов «Умное сельскохозяйственное предприятие», «Умное поле», «Умная ферма», «Умная теплица», «Умный сад». Они основаны на современных конкурентоспособных отечественных технологиях, методах, алгоритмах и системах [3].

Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство» предусматривает создание единой национальной цифровой платформы в АПК, внедрение цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в АПК, роста производительности на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях и включает в себя три этапа [1]:

- первый этап связан с созданием и внедрением национальной платформы цифрового государственного управления сельским хозяйством «Цифровое сельское хозяйство», которая будет интегрирована с другими субплатформами для управления сельским хозяйством на региональном и муниципальном уровнях;
- второй – предусматривает создание и внедрение модуля «Агрорешения» национальной платформы цифрового государственного управления сельским хозяйством «Цифровое сельское хозяй-

ство» для повышения эффективности деятельности сельскохозяйственных товаропроизводителей. В результате внедрения данного модуля производительность труда повысится в 2 раза в расчете на одного работника при сокращении затрат сельскохозяйственных предприятий;

- третий – предполагает разработку и реализацию программ подготовки и переподготовки специалистов сельскохозяйственных предприятий с целью формирования у них компетенций в области цифровой экономики.

В целях реализации мероприятий по цифровизации сельского хозяйства Минсельхозом России в 2019 г. разработана Концепция национальной платформы «Цифровое сельское хозяйство», которая содержит систематизированное изложение подходов к цифровой трансформации АПК в виде целей, задач, структуры и содержания предлагаемой платформы, а также ожидаемых от ее внедрения результатов [16].

В соответствии с Концепцией цифровое сельское хозяйство базируется на современных способах производства сельскохозяйственной продукции и продовольствия с использованием технологий интернета вещей, робототехники, искусственного интеллекта, анализе больших данных, электронной коммерции и других, обеспечивающих рост производительности труда и снижение затрат производства.

К наиболее перспективным направлениям цифровой трансформации сельского хозяйства Российской Федерации в Концепции отнесены:

- сбор, хранение, анализ и представление данных об объектах АПК и их состоянии;
- создание цифровых двойников основных объектов и субъектов отрасли (часть общего информационного массива, относящаяся к конкретному субъекту или объекту отрасли);
- точное (координатное) земледелие и «умное» животноводство;
- процессы взаимодействия субъектов АПК;
- прослеживаемость сельскохозяйственной продукции.

Цифровая трансформация АПК должна базироваться на использовании новейших достижений в области информационных технологий (облачные решения, большие данные, компьютерное зрение, нейронные сети, искусственный интеллект, распознавание образов,

системы распределенного реестра, дополненная и виртуальная реальность, комплексные информационные системы управления сельскохозяйственными предприятиями); инженерных решений (оборудование для точного земледелия, роботы и автономные машины, автономные датчики, дроны, космические технологии, решения для умных ферм; коммуникационных технологий (ГЛОНАСС/GPS, мобильный Интернет, технологии беспроводной связи и сети стандартов 3G- 5G, интернет вещей, беспроводные сенсорные сети (рис. 1) [16]:

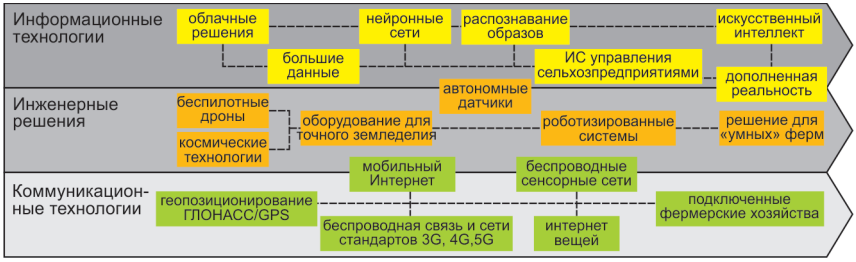


Рис. 1. Технологии, используемые при цифровизации сельского хозяйства

Для обеспечения технологического прорыва в агропромышленном комплексе и роста производительности на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях разработана Национальная платформа «Цифровое сельское хозяйство», организационно-функциональная схема которой включает в себя шесть подплатформ:

- сбора статистических данных агропромышленного комплекса;
- цифрового землепользования и землеустройства;
- агрометеопрогнозирования;
- обеспечения информационной поддержки и предоставления услуг;
- хранения и распространения информационных материалов;
- прослеживаемости продукции АПК;
- укрупненный сервис многофакторного оперативного мониторинга, диагностики и упреждающего моделирования развития болезней сельскохозяйственных культур.

Каждая подплатформа содержит структурированный набор сервисов. Например, архитектура подплатформы цифрового землепользования и землеустройства включает в себя 15 сервисов, подплатформа прослеживаемости продукции АПК – 16 сервисов, подплатформа обеспечения информационной поддержки и предоставления услуг – 8. Набор цифровых сервисов направлен на обеспечение эффективной деятельности сельскохозяйственных производителей и органов управления АПК.

Предметными задачами цифровой трансформации сельского хозяйства являются [17]:

- внедрение платформы для производителей, повышающей эффективность управления растениеводством и животноводством за счет улучшения использования имеющихся у производителя ресурсов;
- разработка функциональных требований к отечественной аппаратуре дифференциального позиционирования по сигналам ГЛОНАСС/ГНСС для систем точного земледелия;
- внедрение платформ мониторинга и управления транспортной и логистической инфраструктурами в сельском хозяйстве;
- формирование по единым форматам баз данных технологий земледелия, техники и оборудования, почв и их свойств, культур и сортов, удобрений и средств защиты растений, болезней и вредителей, экономических моделей ведения сельскохозяйственного бизнеса и других данных, влияющих на результаты работы сельхозтоваропроизводителей;
- создание методик, алгоритмов и технологий управления «цифровым сельскохозяйственным предприятием»;
- разработка методов и алгоритмов прогнозирования состояния агроэкосистем для создания адаптивных технологических карт полевых работ и экономических моделей;
- создание интеллектуальных систем поддержки принятия решений для сельскохозяйственных предприятий;
- организация инновационных хозяйств как площадок для отработки технологий и обучения кадров;
- внедрение платформ интернета вещей (кибер-физические системы) для управления сельскохозяйственной техникой, теплицами,

инструментами, потоками используемых материалов, повышения энергоэффективности производства, управления системами прослеживаемости и др.;

- применение технологий цифрового анализа структуры, состава и состояния почв, мониторинга посевов для повышения урожайности и предиктивного анализа урожая, вредителей и др.;
- разработка цифровых решений по формированию севооборотов для различных регионов Российской Федерации с целью производства качественной экологически безопасной продукции на основе лучших практик и использования научного потенциала;
- использование технологий «цифрового стада» и бесшовное сопряжение систем контроля и надзора в системы управления бизнесом хозяйствующих субъектов с целью включения в сквозные цифровые цепочки полного производственного цикла продукции животноводства;
- развитие цифровых технологий отечественной селекции и генетики, ускоренное выведение новых сортов растений и пород животных, адаптированных к конкретным почвенно-климатическим условиям регионов и др.

Реализация разработанной Концепции направлена на внедрение новой аграрной технологической политики России, рост производства в сельском хозяйстве и смежных отраслях, оптимизацию использования земельных ресурсов, минеральных удобрений и химических средств защиты растений, сохранение плодородия почв, снижение воздействия на окружающую среду, внедрение новых образовательных стандартов и технологий обучения в аграрных вузах и колледжах, а также переподготовки специалистов сельскохозяйственных предприятий для формирования у них компетенций в области цифровой экономики.

Следует отметить, что российский рынок информационных технологий в сельском хозяйстве быстро развивается. Так, за десять лет (2006-2016 гг.) охват Интернетом сельскохозяйственных предприятий увеличился в 5 раз, однако уровень использования цифровых технологий зависит от категории хозяйств. Для малых сельхозорганизаций доступность Интернета составляет 55,4%, микропредприятий – 44,2, крестьянских (фермерских) хозяйств, индивидуальных предпринимателей и ЛПХ – 24-22% [17].

Несмотря на развитие интернет-технологий в сельском хозяйстве, цифровизация сферы производства, обращения и экономики затруднена из-за воздействия следующих факторов [18]:

- отсутствие единого подхода к стандартизации процессов, форм и форматов сбора, хранения и передачи полной и актуальной информации о землях сельскохозяйственного назначения как основном средстве производства в сельском хозяйстве;
- высокий уровень дефицита на отраслевом рынке труда специалистов, способных эффективно работать с инновационными цифровыми технологиями;
- отсутствие национальных и международных информационных систем, обеспечивающих прослеживаемость продукции на всем пути – от сельскохозяйственных товаропроизводителей до прилавка магазина;
- высокая цена импортных разработок и торговые ограничения в условиях низкого уровня развития отечественного рынка цифровых технологий;
- отсутствие нормативно-правовой базы и практики межведомственного взаимодействия на региональном уровне и др.

Решение проблем, сдерживающих цифровизацию сельского хозяйства, предусматривает увеличение инвестиций на разработку и внедрение информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) у большинства сельскохозяйственных товаропроизводителей, преодоление дефицита квалифицированных IT-специалистов, работающих в сельском хозяйстве, развитие цифровой инфраструктуры в сельской местности, совершенствование нормативно-правового регулирования освоения информационных технологий в АПК.

О недостаточности инвестиций в цифровизацию отечественного сельского хозяйства свидетельствуют самые низкие затраты на ИКТ по разделу «Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство», которые, по данным Росстата, в 2017 г. составили 0,85 млрд руб., или 0,2% всех ИКТ-инвестиций во все отрасли хозяйства, что свидетельствует о большом потенциале сферы сельского хозяйства для инвестиций в ИКТ [3].

Таким образом, цифровизация в аграрной сфере позволяет снизить риски, адаптироваться к изменению климата, повысить урожай-

ность сельскохозяйственных культур. Снижение затрат на производство продукции, повышение ее качества и конкурентоспособности на основе эффективного использования ресурсов и научно обоснованных подходов – главная задача цифровизации. Обеспечение агропроизводителей необходимой информацией позволит снизить издержки, упростить цепочку поставок продукции от поля до потребителя, сократить дефицит квалифицированной рабочей силы, обеспечить существенный прорыв в технологиях производства сельскохозяйственной продукции.

2. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ

Сельское хозяйство становится высокотехнологичным сектором экономики, где обрабатываются потоки больших данных, поступающих от различных датчиков, установленных в поле, на животноводческой ферме, тракторах, комбайнах и другой сельскохозяйственной технике, от метеорологических станций, спутников, беспилотных летательных аппаратов и других систем. Аналитическая обработка этих данных позволяет получать качественно новую информацию, позволяющую автоматизировать технологические процессы, находить закономерности для принятия управленческих решений по повышению эффективности сельскохозяйственного производства, создавать добавочную стоимость, улучшающие работу агробизнеса.

Цифровизация и автоматизация максимального количества сельскохозяйственных процессов являются стратегией развития ведущих агропромышленных компаний мира. С помощью IT-технологий и автоматизации можно решить многие задачи, постоянно возникающие в длинной цепи производства и реализации продукции сельского хозяйства. Решение таких задач связано со значительным увеличением объема получаемых и обрабатываемых данных, повышением достоверности выводов, которые лежат в основе принятия технологических и управленческих решений.

Основу «цифрового АПК» составляет интеллектуализация всех технологических процессов сельскохозяйственного производства – от получения статистических показателей до модерирования всей цепочки создания стоимости, улучшения качества и сбыта продукции, оценки прибыли.

В соответствии с концепцией научно-технологического развития цифрового сельского хозяйства цифровые технологии в управлении АПК включают в себя разработку аналитических инструментов и баз данных: годовой отчетности различных сфер деятельности в отрасли, о состоянии продовольственных и ресурсных рынков, результатов интеллектуальной деятельности НИИ аграрного профиля и сельскохозяйственных вузов и др. [17].

Рассматривая многоаспектные направления цифровизации АПК, можно выделить основные тренды, связанные с развитием следующих укрупненных блоков [19]:

- управление производством продукции растениеводства;
- цифровые технологии в системах управления продуктивностью растениеводства;
- интеллектуализация управления сельскохозяйственной техникой.

Необходимо отметить, что при создании и реализации цифровых технологий в растениеводстве могут использоваться как отдельные блоки, так и их интеграция, например в технологиях точного земледелия, создании различных модулей для комплексных цифровых решений для АПК: «Умное поле», «Мониторинг сельскохозяйственной техники», «Совместное использование мощностей и техники» и др.

2.1. Цифровизация управления растениеводством

Цифровое планирование предполагает рациональное построение системы управления производством, призванное исключить негативное влияние человеческого фактора, связанного с ограничением знаний, неадекватностью мотиваций деятельности и ответственности управленческого персонала на результаты производства.

В настоящее время 40% топ-менеджеров сельскохозяйственных предприятий озабочены необходимостью анализа больших данных, качество обработки которых влияет на обоснованность выводов, на основе которых принимаются решения [20].

Разрабатываемое программное обеспечение позволяет дать советы специалистам по улучшению технологий производства и обработки растений в сравнении с показателями прошлых лет. В основе рекомендаций лежат современные методы обработки информации, направленные на определение оптимального времени для посадки семян, внесения удобрений, полива, сбора урожая, расчет времени погрузки и доставки продукции потребителям.

По экспертной оценке компании «J’son & Partners Consulting», крупные сельскохозяйственные предприятия могут быть пионерами во внедрении автоматизированных систем управления предприяти-

ем на основе использования технологий интернета вещей, автономных агроботов, освоении методов инновационного программного обеспечения, необходимых для обработки больших сельскохозяйственных данных, а также в организации обучения, повышении квалификации кадров и организации внедрения достижений передовых зарубежных компаний.

Перспективным сегментом по применению AIoT-решений в отечественном агросекторе могут выступать также средние частные сельскохозяйственные предприятия, обладающие достаточной гибкостью при выборе, апробации и активном использовании новых технологий в производственном процессе.

На основании исследований рынка ИТ-услуг и программного обеспечения, проведенного в КубГАУ, установлено, что процессы поддержки принятия решений в управлении растениеводством, обоснованного выбора технологии возделывания сельскохозяйственной культуры, рационализации системы севооборотов хозяйства, анализа книги истории полей севооборотов, расчета дозировок органоминеральных удобрений для бездефицитного баланса гумуса, не покрываются за счет средств программных комплексов, предлагаемых на рынке. Поэтому разработка и внедрение компьютерной системы поддержки принятия решений в управлении технологическими процессами в растениеводстве, которые базируются на математических моделях анализа и оценки экономической эффективности технологий возделывания сельскохозяйственных культур, моделях рационализации севооборота, анализа данных книги истории полей севооборота, оптимизации подбора средств защиты растений и удобрений, непосредственно связаны с решением проблем разработки и внедрения комплексной автоматизированной информационной системы управления растениеводством [21].

Разрабатываемая комплексная автоматизированная информационная система поддержки принятия решений в управлении технологическими процессами растениеводства имеет модульную структуру (рис. 2).

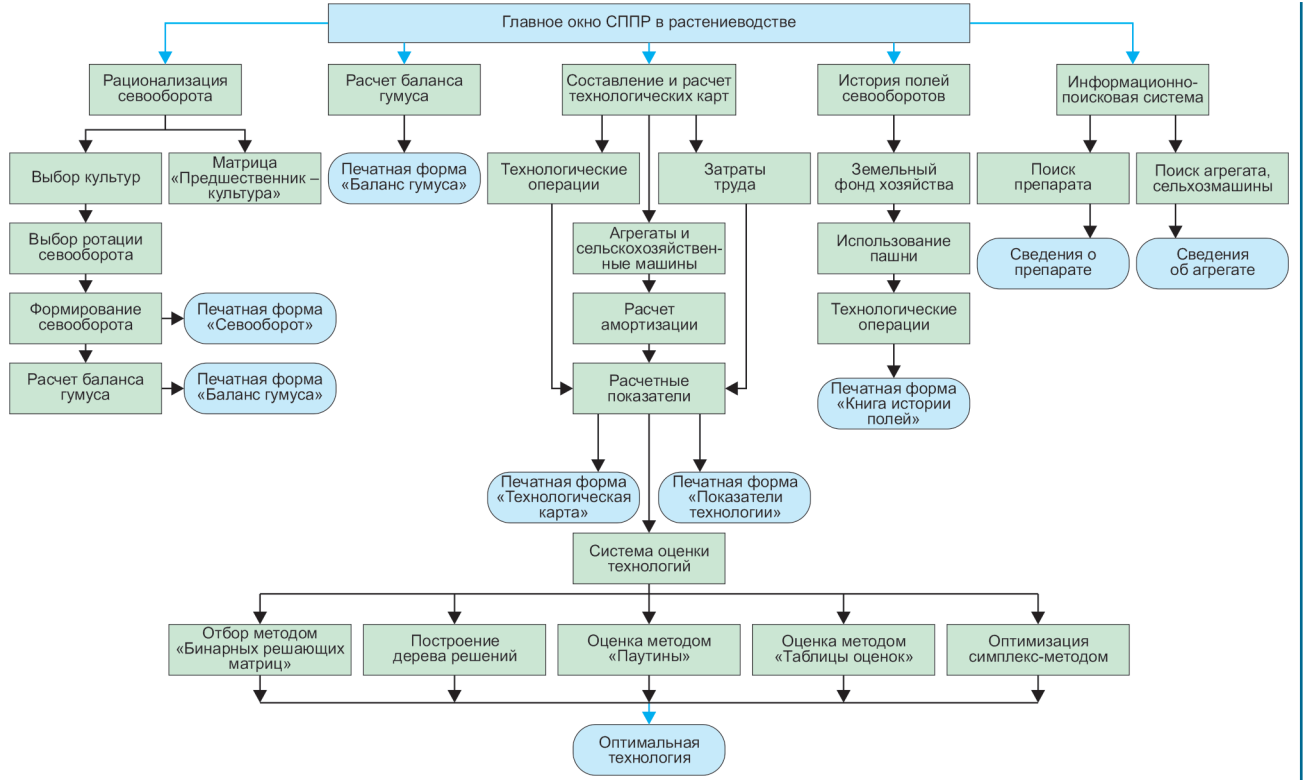


Рис. 2. Архитектура комплексной системы управления растениеводством

Программный комплекс позволит специалистам предприятий АПК решить ряд важнейших управленческих задач:

- по планированию и контролю выполнения технологических операций на полях, по распределению техники, сотрудников, ресурсов и проведению расчета необходимых закупок ГСМ, средств защиты растений, семян и удобрений;
- анализу и оценке экономической эффективности альтернативных технологий возделывания сельскохозяйственных культур;
- автоматизированной обработке и хранению электронной книги истории полей севооборотов. Основой для проведения интеллектуального анализа данных является база данных истории полей, которая создана с использованием технологии «BigData».

Разработанная компьютерная система обеспечивает автоматизированную подготовку различной информации для анализа и расчетов по выносу элементов, планируемому уровню урожая, требуемым дозам удобрений; зонирования урожайности и определяющих ее факторов; определения экономических показателей растениеводства в разрезе отдельных полей.

Для интеллектуального анализа данных и поддержки принятия решений в управлении технологическими процессами растениеводства заслуживает внимания облачный сервис «История поля», разработанный специалистами компании АО «Геомир» [22]. Информация по каждому агропредприятию хранится на территории Российской Федерации в зашифрованном виде без возможности доступа к ней других лиц. Все данные в облачном сервисе «История поля» хранятся и накапливаются по годам, что позволяет получать информацию за предыдущие годы.

Сервис «История поля» в отличие от других систем, где информация часто хранится в самых разнообразных форматах и системах, позволяет дистанционно контролировать состояние посевных площадей и работу техники на полях, планировать выполнение сельскохозяйственных процессов, вести полевые журналы и др. Автоматизированный сбор, обработка и комплексный анализ всей производственной информации позволяют сельхозпроизводителям принимать обоснованные управленческие решения. Ключевое отличие сервиса «История поля» от аналогичных разработок заключается в возможности использования

его функций с учетом специфики и текущих потребностей конкретного предприятия. В программе могут быть активированы именно те модули, которые необходимы хозяйству.

В число основных функций сервиса входят формирование электронных карт полей, планирование севооборота и операций на полях, мониторинг техники и учет выполненных работ, спутниковый мониторинг посевов, агрохимический анализ почв, проведение полевых осмотров и др. (см. таблицу).

Основные функции облачного сервиса «История поля»

Сервис	Функции
1	2
Электронный полевой журнал	Хранение всей информации (севооборот, характеристики почвы, выполняемые операции) по конкретному полю в одном месте Вся информация хранится по годам – можно смотреть, что происходило на поле в прошлые сезоны Краткосрочный и долгосрочный прогнозы погоды Автоматический расчет потребности в семенах, средствах защиты растений, удобрениях
Формирование севооборота	Формирование технологических карт для каждого поля Оптимизация использования техники, людей и земельных ресурсов Формирование учетных и путевых листов План-факт-анализ результатов работ
Мониторинг техники	Отображение треков движения техники за выбранный интервал времени Отображение работы техники на полях в режиме реального времени Автоматическое определение выполняемых операций на полях, перегонов и стоянок техники Контроль скоростного режима техники Расчет обработанной площади по каждой операции Отображение мест стоянки техники Расчет расхода топлива, в том числе в разрезе на 1 га обработанной площади

Продолжение таблицы

1	2
Кадастровые участки	Хранение всех данных по кадастровым участкам Возможность загрузки любых документов по участкам Автоматическое определение пересечений полей и кадастровых участков, подсчет площадей пересечения
Спутниковый мониторинг полей	Автоматическая загрузка спутниковых снимков каждую неделю Демонстрация реальной картины состояния полей Выявление проблемных полей и проблемных зон внутри полей Построение графиков вегетации и сравнение их с другими полями и прошлыми сезонами
Точное земледелие	Хранение, отображение и анализ спутниковых снимков и снимков с БПЛА Формирование карт дифференцированного внесения Построение и отображение почвенных карт по результатам агрохимanализа Построение и отображение карт планового и фактического внесения, карт урожайности и карт всходов Формирование карт плодородия почвы на основании ретроспективного анализа спутниковых снимков прошлых лет
Автоматическое формирование отчетов	Структура посевных площадей Урожайность на полях и др.

Пример сервиса «Формирование севооборота» представлен на рис. 3.

Рис. 3. Этапы работ «Планирование севооборота»

Накопленный опыт показывает, что внедрение облачного сервиса «История поля» позволяет:

- усилить контроль за расходом топлива и внесением средств защиты растений на полях;
- повысить эффективность использования земельного фонда за счет контроля границ полей и их сравнения с кадастровыми границами;
- увеличить урожайность за счет поступления оперативной информации с полей (наземные осмотры, спутниковые снимки и снимки с БПЛА);
- обеспечить своевременность закупок техники и оборудования благодаря четкому планированию и расчету потребностей для выполнения плана.

Экономия при использовании сервиса «История поля» составляет не менее 20-30% на каждом этапе работ.

Значительно расширить возможности специалистов в управлении технологическими процессами в растениеводстве позволяет информационно-аналитическая система ГЕО-Агро, разработанная АО «Геомир» [22, 23] и предназначенная для организации и обработки информации по растениеводству с целью обоснования управленческих решений и обеспечения:

- структуризации данных всех блоков, задействованных в растениеводстве (хозяйство, поле, культура, техника, орудие, сотрудники, удобрения, СЗР, сорняки, вредители и др.);

- формирования выборок-отчетов, помогающих в принятии управленческих решений;
- отображения привязанной к местности информации в виде картограмм, что способствует оперативной обработке большого количества информации;
- формирования производных картограмм на основе картограмм с уже введенными данными (аппликационная картограмма планируемого внесения удобрений, карта-задание по выполнению той или иной технологической операции);
- наблюдения за ежегодным (ежемесячным) изменением тех или иных интересующих свойств (например, изменение агрохимических параметров);
- мониторинга техники.

К электронной карте полей привязана разносторонняя база данных (система знаний) в области сельского хозяйства. Программа ГЕО-Агро может быть настроена под каждое хозяйство, имеет простую в освоении систему управления.

Встроенный ГИС-модуль сохраняет все слои электронной карты как уровня хозяйства, так и уровня агрохолдинга, включая прикладные слои карты (агрохимическая, агрофизическая; карты урожайности, дифференцированного внесения по технологии точного земледелия, направления движения техники на полях в текущем году, отбора проб, почвенная карта и др.); автоматизирует планирование севооборотов и формирование структуры посевных площадей на предстоящие годы; осуществляет ведение электронного полевого журнала с привязкой всех записей к карте и году урожая и возможностью сортировки по году урожая; печатает карты, в том числе структуры посевов как крупных, так и мелких масштабов, отчёты план-факторного анализа по различным критериям, необходимым пользователю.

Цифровая платформа для рационального управления растениеводством в агрохозяйствах («Агросистема «КлеверFarmer»), разработанная ООО «Лаборатория Минимакс», также предназначена для рационального управления полевым севооборотом и принятия решений на основе оперативных данных и прогнозов [24, 25].

Управленческие решения на каждом участке синхронизируются с данными о погоде, составе почв, развитии процессов вегетации, наличии вредителей и болезней. https://cleverfarmer.ru/features/

Инструменты цифровой платформы «КлеверFarmer» позволяют товаропроизводителям получать:

- электронные карты и спутниковые снимки своих полей;
- архивы спутниковых снимков за предыдущие годы;
- журналы работ (рис. 4), осмотров и отчеты по назначенным осмотрам;
- актуальные метеоданные;
- сумму активных температур и накопленной влаги по каждому полю;
- прогноз погоды;
- справочники культур и сортов, болезней и вредителей;
- учет расхода удобрений и посевного материала.

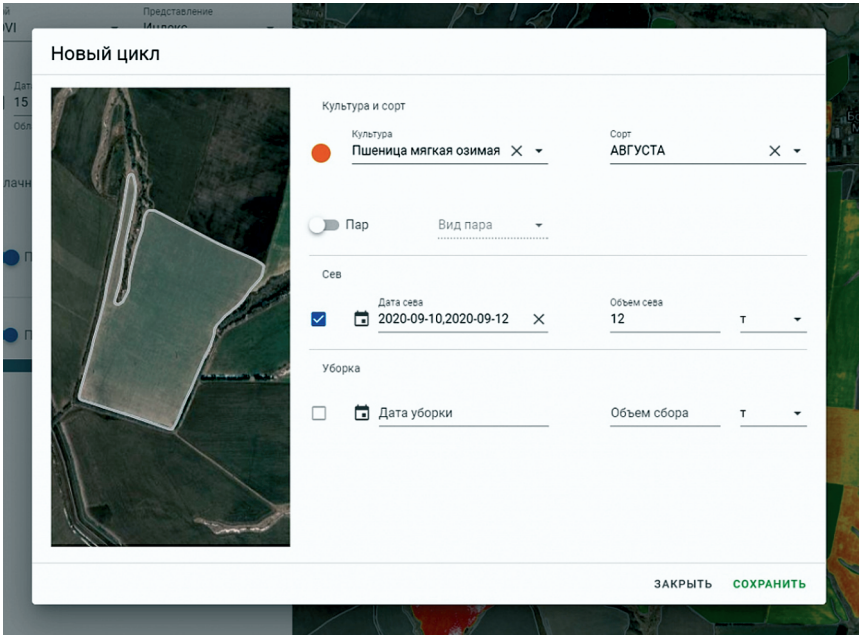


Рис. 4. Журнал учета работ в системе «КлеверFarmer»

На основе разработок платформы «КлеверFarmer» анализируются спутниковые NDVI-снимки в реальном времени. Данные со снимков обрабатываются с учетом ожидаемых фаз развития каждой культуры, рассчитываемых по сумме накопленных температур и сроков сева.

Инструменты платформы позволяют наблюдать за процессами вегетации, содержанием влаги в почве, листьях растений, азота в листьях, биомассы растений, оценивать развитие растений на любой фазе развития.

Программа учитывает, какая стадия развития данной культуры ожидается, и цветом отражаются те участки, где фактический уровень отличается от расчётного или среднего значения, что позволяет определить участки с отклонением от нормы и своевременно предотвратить потерю урожая.

Такие данные, как объем планируемого урожая по хозяйству, культуре; контроль за использованием семян (дата, объем посевных площадей, соответствие норм высева), удобрений и средств защиты растений (дата, объем обработанных площадей, название средства, финансовые затраты на его приобретение); статус проведения работ по уборке урожая; отчеты хозяйств об использовании целевых субсидий можно отражать как по каждому хозяйству отдельно, так и району или области в целом.

Другим примером цифровизации управления в сельском хозяйстве является информационно-аналитическая система (ИАС) «АгроХолдинг», разработанная ЦентрПрограммСистем на базовой платформе 1С:Предприятие 8.0 [26]. Эта ИАС является комплексом программно-технических средств, обеспечивающих автоматизированную обработку технологических данных агропромышленных предприятий, выполнение расчетов и анализ полученной информации, ведение бухгалтерского, налогового, управленческого и производственно-отраслевого учета. Система функционирует на основе постоянного мониторинга техники предприятия с применением средств GPS/ГЛОНАСС-навигации. На основе единого информационного пространства обеспечивает решение основных задач планирования и оперативного управления. Схема функционирования ИАС «АгроХолдинг» представлена на рис. 5.

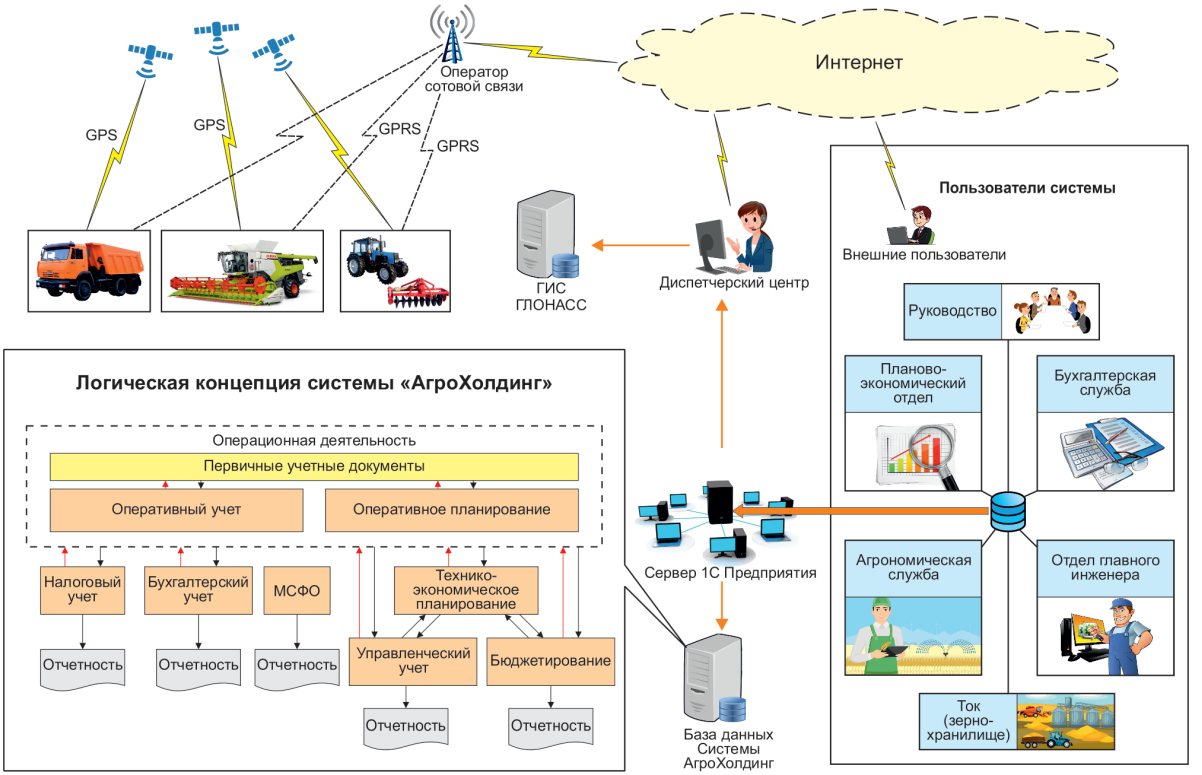


Рис. 5. Общая схема функционирования ИАС «АгроХолдинг» и ее взаимодействие с другими системами. Источник – 1cps.ru

Система обеспечивает комплексную технологию производства сельскохозяйственной продукции с документооборотом, соответствует отечественной нормативно-правовой базе. В интеграции с системами навигации и мониторинга автомобильного транспорта и сельскохозяйственного парка является средством для организации диспетчерского центра по фиксированию заданий водителям и механизаторам, получению оперативной сводки о выполненных работах для получения план-фактного анализа выполненных работ.

Сбор информации для функционирования системы осуществляется в основном в автоматизированном режиме. Аппаратные средства мониторинга обеспечивают прием GPS-сигналов, сбор показателей с установленных датчиков и передачу пакета результатов измерений по установленным параметрам на сервер базы данных. Для передачи данных используются GSM-модем, SIM-карта, GPRS -канал и сеть Интернет. Кроме данных, собираемых в автоматическом режиме, система позволяет осуществлять импорт информации с внешних носителей информации, а также ручной ввод из различных источников.

К основным функциональным возможностям программы ИАС «АгроХолдинг» относятся:

- технико-экономическое планирование растениеводства;
- планирование и оперативный учет сельскохозяйственных работ;
- определение потребности в технике;
- составление плана сельскохозяйственных работ;
- управление ремонтами и материально-техническим снабжением;
- бухгалтерский и налоговый учет в растениеводстве и др.

Как правило, первыми цифровые технологии начали внедрять крупные предприятия, такие как агрохолдинг «Русагро», который обрабатывает почти 1% всех сельскохозяйственных земель страны. Начало цифровизации связано с внедрением системы управления ресурсами. Задания для 1,5 тыс. сотрудников формируются в Системе Планирования Ресурсов Предприятия – SAP ERP (Enterprise Resource Planning компании «SAP»).

В агрохолдинге анализируются данные, поступающие со спутников, с собственных метеостанций и погодных сервисов, датчиков,

установленных в полях, агрегируются и представляют большие данные, характеризующие динамику развития возделываемых культур, работу сельскохозяйственной техники, характеристику полей, используемые семена, состояние почв, применяемые технологии и погодные условия. Собранные данные используются компанией для анализа и корректировки производственных программ.

Для сельхозтоваропроизводителей особый интерес представляют системы контроля и анализа данных в режиме реального времени. Благодаря анализу больших данных, собираемых с датчиков, которыми оборудована сельскохозяйственная техника, производители могут значительно увеличить выработку техники. Например, в российском проекте «Агросигнал» на мониторах показывается вся работа техники, поэтому любые отказы можно легко заметить и оперативно устранить. Особое внимание уделяется контролю развития посевов, которым охвачено свыше 150 хозяйств, обрабатывающих более 2 млн га земли. Система контроля планирует производственные процессы, корректирует планы в ходе их выполнения, с помощью подключенных датчиков и приборов автоматически регистрирует сроки выполнения работ. Практическое применение разработанной системы показало, что производительность может быть увеличена в 2 раза, экономия материальных ценностей до 50%, а урожайность – на 10-15% [20].

Другим примером применения цифровых технологий управления является агрохолдинг «Кубань», где работают 5 тыс. человек. Холдинг занимается растениеводством, животноводством, хранением и переработкой зерна, семеноводством и другими направлениями деятельности.

Цифровой мониторинг работы сельскохозяйственной техники, освоенный компанией для определения маршрута движения, расхода топлива, технического состояния машин, позволяет экономить до 30% топлива, автоматизировать процессы уборки урожая, вспашки, внесения удобрений и др. Получение и обработка данных диагностики полей с использованием камер высокого разрешения, метеорологических датчиков, которые измеряют температуру воздуха, уровень влажности, наличие дождя, скорость и траекторию движения воздушных масс, атмосферное давление, а также базы данных

болезней растений фактически приводят к необходимости применения технологий обработки больших данных (big data).

Главная задача управления холдингом – обеспечение контроля работы всех предприятий, входящих в его состав: сельскохозяйственные предприятия, животноводческие фермы, комбикормовый и конный заводы, лаборатория контроля качества кормов, сервисные центры и др. С целью решения задач контроля и управления применяются подробные картограммы полей, данные мониторинга их состояния, полученные с использованием спутниковых технологий и данных с беспилотных летательных аппаратов, аналитическая обработка и пакетная передача информации [27].

Такая технология позволяет специалистам холдинга более точно прогнозировать погодные условия, получать результаты тестирования плодородия почвы, оперативнее управлять развитием растений и эффективностью производства.

Для автоматизации процессов управления производством, увязки производственных операций с ресурсами предприятия и обеспечения роста эффективности в растениеводстве агрохолдинг «Кубань» одним из первых в аграрном секторе России внедряет отраслевую ERP-систему, в основе которой – специализированный программный комплекс Oracle JD Edwards Enterprise One с приложениями для сельского хозяйства. На площади более 100 тыс. га автоматизируются процессы управления и контроля выращивания зерновых, зернобобовых, подсолнечника и сахарной свеклы.

Для анализа уровня плодородия почвы используется «посох агронома» с датчиками и системами GPS и ГЛОНАСС. К основным определяемым показателям относятся влажность, содержание органических веществ, гидролитическая кислотность, pH солевой вытяжки, уровни нитратного и аммонийного азота, подвижных форм фосфора и калия. По отзывам специалистов, благодаря цифровизации управления компания смогла стать одним из наиболее эффективных крупнейших землепользователей страны.

Разработкой и продвижением цифровых систем управления аграрным производством занимаются и другие отечественные компании. Например, разработанный компанией «Exact Farming» онлайн-сервис мониторинга полей и управления сельским хозяйством

определяет метеоданные, вегетационный индекс, состояние севооборота за прошлые годы, плодородие почвы, отражает ход полевых работ, информацию о продукции на складах, а также повышает точность прогнозирования рисков, что является более обоснованным доказательством необходимости получения кредитов.

Компания «Алан-ИТ является разработчиком комплекса программных средств для растениеводства, включающего в себя систему учета и встроенную бизнес-аналитику. Комплекс позволяет вести учет, оптимизировать планирование сельскохозяйственных работ, прогнозировать урожайность, контролировать ход посевных и уборочных работ в режиме реального времени и оценивать причины отклонений от плана, влияющие на конечные результаты. Это делает прозрачным весь процесс производства продукции в растениеводстве, позволяет управляющему персоналу повысить эффективность применяемых агротехнологий.

Для выработки управленческих решений в сфере сельскохозяйственного производства этой же компанией разработан облачный геоинформационно-аналитический сервис, предоставляющий специалистам информацию о состоянии каждого поля в определенный период времени и позволяющий спрогнозировать динамику развития растений.

По данным исследований ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, садоводство является одной из наиболее трудоемких подотраслей сельского хозяйства, уровень механизации которой составляет 15-20%, что сдерживает внедрение современных высокоэффективных технологий производства плодово-ягодной продукции, приводит к упрощению агротехнологий, снижению производительности труда и недобору урожая до 40-50% [28].

Для реализации современных технологий возделывания ягодных кустарников в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ обоснована структура системы управления продукционными процессами в интеллектуальных технологиях возделывания кустарниковых ягодных культур, включающая в себя блоки:

- контроля параметров продукционного процесса (параметры жизнедеятельности растений с комплектом датчиков для сбора информации о состоянии растений и окружающей среды);

- информационно-аналитический для обработки и анализа информации;
- реализации управляющих воздействий, включающий в себя контроллеры стационарных систем орошения и контроллеры машин для выполнения технологических операций, в том числе подкормки и локального внесения удобрений и средств защиты растений, работающих с системами спутникового позиционирования.

Разработаны требования к автоматизированной системе управления продукционными процессами (АСУПП), обеспечивающей контроль и учёт внешних климатических факторов, показателей роста и состояния ягодных кустарников в критические фенофазы их развития. Графическое представление данных о параметрах окружающей среды размещается в сети Интернет. В процессе работы пользователю предоставляется возможность вводить и корректировать условия производства, тем самым адаптируя систему для формирования оптимизированных управленческих решений.

Заслуживает внимания IoT-решение, представленное компанией «Cognitive Technologies» (когнитивные технологии), призванное контролировать путь зерна с поля до элеватора и сократить потери зерновых, достигающие при транспортировке и недостаточном учете 1 млн т [29]. Для этого выстраиваются цифровые цепочки для поддержки логистики снабжения и сбыта продукции с параллельно происходящими процессами цифровизации транспорта и логистики, обмена информацией, получаемой с транспортных средств, с операторами цифровых платформ.

Среди цифровых технологий для этих целей получила распространение технология радиочастотной идентификации (RFID), содержащая микрочип, который хранит уникальный идентификатор, а также антенну, способную передавать эту информацию на специальные радиосчитыватели. RFID -технология позволяет эффективно решать задачи точного учета, приема и отгрузки продукции, значительно снизить затраты и трудоемкость инвентаризации. Применение данной технологии в программно-аппаратном комплексе «Cognitive Agro Control» позволяет организовать онлайн-обмен основными данными при уборке зерновых, их передачу на сервер центра управления уборкой, проводить статистический анализ.

Проекты на базе RFID-технологии активно внедряются в практику. Так, 79% из опрошенных компаний уже инвестировали в такие проекты, а остальные планируют это сделать в ближайшие один-три года [30, 31].

С помощью цифровых технологий в сельском хозяйстве можно создавать автоматизированные цепочки, включающие в себя розничные сети, оптовые компании, логистику, сельхозтоваропроизводителей и поставщиков продукции в единый процесс с адаптивным управлением.

Наиболее перспективной в этом направлении, по мнению специалистов компании «J'son & Partners Consulting», считается модель прямых продаж, благодаря которой сельхозпроизводители за счет использования аналитики «видят» конечного потребителя, необходимый объем поставок и структуру спроса. При этом принципы автоматического обмена информацией между участниками цепочки поставок позволяют минимизировать затраты на складскую и логистическую инфраструктуру всей цепочки.

Решить проблему оперативного планирования в условиях ежедневных корректировок поставок можно переходом на цифровые системы планирования, охватывающие всю цепочку закупки, производства, логистики и продажи. Такая система позволит специалистам в режиме реального времени планировать производство и поставки с учетом математических моделей спроса и реализации продукции.

На рис. 6 представлена примерная схема сквозной автоматизированной производственно-сбытовой цепочки, включающей в себя сбытовые компании, сельхозтоваропроизводителей и поставщиков [29].

Анализ показывает, что все участники цепочки создания стоимости продукции агросектора России все активнее будут вовлекать в совместное использование технологии интернета вещей и агрегации больших данных. Связано это с тем, что чем больше данных собирается и анализируется в одном месте, тем «умнее» становится система и тем более ценная информация может быть получена для управления производством и сбытом продукции.

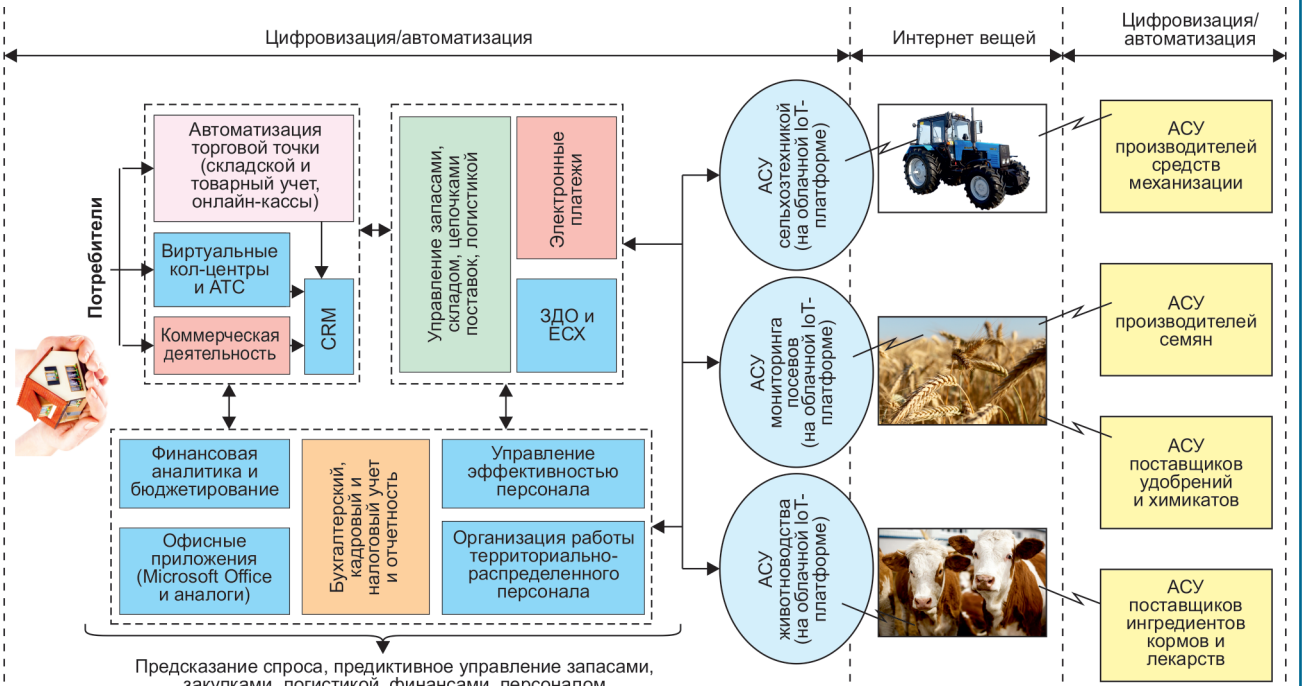


Рис. 6. Схема сквозной автоматизированной производственно-сбытовой цепочки

Примером комплексных решений для «умного» сельского хозяйства являются разработки компания «Pessl Instruments» (Австрия), которые помогают фермерам принимать более обоснованные решения по оптимизации распределения ресурсов (семена, вода, удобрения и др.), сделать поля более устойчивыми к сельскохозяйственным рискам (засуха, избыток воды, мороз, тепловой стресс, повреждение урожая вредителями, грибковыми инфекциями и др.). Использование фермерами предлагаемых цифровых инструментов сможет обеспечить фермерам лучший конечный результат. Для функционирования цифрового управления сельским хозяйством данной компанией разработано 12 специализированных станций и регистраторов [32].

2.2. Цифровые технологии в системах управления продуктивностью растениеводства

2.2.1. Системы точного земледелия

Цифровые технологии применяются для решения задач повышения эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения, оценки состояния и развития сельскохозяйственных культур, задач точного земледелия, прогнозирования урожайности и др. Для этого разработаны соответствующие системы и технологии, программное обеспечение и методики использования данных дистанционного зондирования земли с космических и летательных аппаратов [10].

Точное земледелие – это система управления продуктивностью посевов, основанная на использовании комплекса спутниковых и компьютерных технологий. Аналогичное определение точного земледелия дает Национальный исследовательский комитет США (US National Research Council, 2004), который определяет точное земледелие как стратегию управления, использующую информационные технологии, извлекая данные из множественных источников с тем, чтобы принимать оптимальные решения по производству сельскохозяйственной продукции. Впечатляющие цифры демонстрирует анализ рынка точного земледелия, проведенный компанией «J'son & Partners Consulting». Если в 2010 г. существовало не больше 20 компаний, поставлявших новые технологичные решения для авто-

матизации управления сельским хозяйством, то в настоящее время их порядка 2 тыс. [33].

Реализация таких цифровых систем, как «Умное поле» предусматривает развитие и освоение технологий точного земледелия, в том числе разработку методов оценки и планирования урожайности сельскохозяйственных культур на основе многофакторного анализа геопространственной информации в разрезе полей севооборотов с учетом их внутриполевой организации и разделения на отдельно обрабатываемые агротехнически и технологически однородные рабочие участки.

В настоящее время наиболее активно внедряются технологии и сервисы, реализующие системы точного земледелия, которые представляют собой системы управления продуктивностью посевов на основе информационных, навигационных и телекоммуникационных технологий, включая географические информационные системы, технологии глобального позиционирования, дистанционного зондирования Земли, интернета вещей и др.

В технологиях точного земледелия на основе спутниковых и лабораторных данных составляется точная карта поля с указанием характеристик каждого участка, после чего рассчитывается оптимальное количество семян, удобрений, других материально-технических ресурсов для каждого участка поля, что позволяет более рационально распределять их между участками, одновременно обеспечивая повышение их продуктивности. При этом каждый отдельный георефернцированный контур поля связан со слоями характеристик рельефа, почвенного покрова, плодородия, растительного состава. Точность привязки определяется точностью использованной для георефернцирования (координатной привязки) системы ГНСС [34].

Основу точного земледелия составляют цифровые технологии, специализированная сельскохозяйственная техника и оборудование, программное обеспечение, позволяющие определять состояние и динамику развития растительного покрова земельных участков, оценивать плодородие почвы, на основе которого создаются электронные карты для дифференцированного полива, внесения удобрений и средств защиты растений, а также измерять вегетационные индексы для оценки и прогнозирования урожайности, разрабатывать меры

по повышению эффективности использования земельных ресурсов [11].

Важной составляющей технологии точного земледелия являются своевременное обнаружение и локализация участков угнетенного состояния растительности в пределах поля, что может быть вызвано разными факторами: поражением растений вредителями, засильем сорняков и др.

Для успешного применения в точном земледелии системы дистанционного зондирования должны отвечать следующим условиям [35]:

- возможность сбора данных, их коррекции и первичной обработки в течение 24-48 ч;
- пространственное решение (порядка 5 м) для спектрозональной съемки;
- спектральное решение (порядка 10-20 нм) для повышения точности определения биофизических параметров растительного покрова;
- высокое временное решение, обеспечивающее пять-шесть сеансов получения информации в течение вегетационного периода;
- возможность предоставления результатов тематической интерпретации данных в доступных пользователю форматах;
- невысокая (доступная) стоимость данных.

Необходимо отметить, что качество получаемых снимков с использованием космических аппаратов (разрешение) в ряде случаев недостаточно для эффективного их использования при решении задач точного земледелия. Это обусловлено в первую очередь погодными условиями (облачность), негативным влиянием других атмосферных явлений. Кроме того, оперативность получения спутниковых снимков недостаточна для принятия своевременных решений. Поэтому перед учеными стоит задача совершенствования методов дистанционного зондирования с целью преодоления перечисленных недостатков.

Этим условиям в полной мере отвечают данные с космического аппарата «Formosat-2» космического агентства «Тайваня NSPO» (National Space Organization), группировка из пяти мини-спутников «RapidEye» (Германия), спутники с оптико-электронными системами сверхвысокого разрешения (WorldView-1 и GeoEye-1), уникаль-

ные многофункциональные космические аппараты (ALOS), группировки спутников с радиолокаторами высокого и сверхвысокого разрешения (TerraSAR-X, COSMO-SkyMed, RADARSAT-2) [35, 36].

Ключевыми элементами точного земледелия являются глобальная система определения координат со спутников с непосредственным вводом информации в бортовой компьютер сельскохозяйственных машин; географические информационные системы; многослойные электронные карты, с помощью которых создается компьютерная модель хозяйства, позволяющая оперативно производить расчеты, формировать отчеты и задания, ставить виртуальные эксперименты для принятия оптимальных управленческих решений; автоматическое вождение сельскохозяйственных агрегатов на базе навигационных спутниковых систем, обеспечивающих точность технологических операций (посев, обработка, уборка) с учетом особенности рельефа и др.; оценка состояния почвы и растительного покрова каждого конкретного участка поля с использованием специального оборудования [37].

В технологии точного земледелия используются также [11]:

- программное обеспечение для анализа собранной информации и принятия производственных решений, создания электронных карт полей путем наземных измерений или с помощью беспилотных летательных аппаратов, аэро- или космической съемки;
- уборочные агрегаты, оснащенные специальным оборудованием, предназначенным для определения урожайности на участках поля с обязательной географической привязкой полученных данных;
- технические и программные средства для составления технологических карт дифференцированного внесения удобрений и средств защиты.

Для сбора информации в системах точного земледелия используются почвенные автоматические пробоотборники, оснащенные GPS-приемниками и бортовыми компьютерами; геоинформационные системы (ГИС) для составления пространственных тематически ориентированных электронных карт посевов; картограммы влагозапасов в корнеобитаемом слое почвы; карты урожайности культур, получаемые сразу после уборки; данные дистанционного зондирования земельных участков.

Для анализа собранной информации и принятия производственных решений (вторая группа) используется ряд зарубежных и отечественных программных продуктов. Большинство из них – программы расчета доз удобрений с элементами геоинформационных систем, например Agro-Map, Агроменеджер, УрожайАгро, FieldRover II, Agro View и др. [11, 38].

Активно внедряются технологии дистанционного зондирования Земли и в зарубежной практике. Так, по отзывам специалистов, подходы к точному земледелию, разрабатываемые компанией «BlackBridge», приносят пользу быстроразвивающемуся рынку агрономического консультирования и планирования [39].

Информация, извлекаемая из космической съемки, позволяет фермерам принимать более взвешенные управленческие решения и оптимизировать использование своих ресурсов. Результатом являются ме́ньшая себестоимость продукции, более высокие урожайность и прибыль. Использование материалов космической съемки высокого пространственного разрешения, получаемые со спутников «RapidEye», дополняет традиционные методы сбора информации, предоставляя данные на больших территориях с меньшими финансовыми затратами.

Для повышения продуктивности сельского хозяйства подходы к точному земледелию, разработанные компанией «BlackBridge», широко используются и распространяются в мире вместе с программами мониторинга, работающими в Бразилии, Мексике, Великобритании, Австралии, и новыми программами, стартующими в России и Болгарии.

В программах развития стран с развитым сельским хозяйством содержатся отдельные элементы по развитию технологий точного земледелия. Лидирующие позиции по развитию данных технологий занимают США. Это стало возможным благодаря реализации программы «Продовольственная и сельскохозяйственная киберинформатика и инструменты (FACT)», а также разработке этих технологий частными компаниями («Ag Leader Technology», «AgJunction, Inc», «CropMetrics LLC» и др.).

В Китайской Народной Республике провозглашен курс на модернизацию сельского хозяйства, внедрение регионального пилотного

проекта в области технологий точного земледелия на основе IoT, повышение уровня интеллектуальности и точности сельского хозяйства. В Германии создано 14 цифровых инновационных парков, направленных на развитие технологий точного земледелия, а также технологий интернета вещей и больших данных [40].

По оценке Агрофизического НИИ Санкт-Петербурга, в странах Евросоюза технологии точного земледелия или отдельные их элементы применяют около 80% фермеров, в США – 60%. Значительные успехи отмечаются в сельском хозяйстве Бразилии, Дании, Японии, Аргентины [41.

Отечественные сельхозпроизводители также внедряют технологии точного земледелия и его элементы. По количеству хозяйств, использующих элементы точного земледелия, лидируют Липецкая, Орловская и Самарская области [18].

В Липецкой области передовыми цифровыми технологиями охвачено более 450 тыс. га пашни, что составляет около 30% ее общей площади. За счет внедрения отдельных элементов системы точного земледелия и современной техники за последнее пятилетие урожайность озимых культур региона возросла в среднем на 20-35%, достигнув 43-45 ц/га [42].

Специалисты компании «Агроко» на полях Центрального Черноземья используют картирование, спутниковые технологии по определению NDVI-индекса для прогнозирования урожайности, системы спутникового мониторинга для контроля работы сельхозтехники [11].

Активно осваивает технологии точного земледелия агрофирма «Прогресс» (Краснодарский край), которая начала с освоения автопилотов на тракторах и опрыскивателях (точность до 2,5 см), а в последние годы внедрила дифференцированное внесение удобрений.

«Волгоградская АгроПромышленная компания» внедряет точное спутниковое позиционирование для параллельного вождения и контроля техники, сбор статистики условий работ на полях для анализа зон обработки по критериям скорости и времени, а также беспилотную съемку участков пашни для оценки вегетации. В числе преимуществ используемых предприятием технологий – контроль и наличие собранной статистики об условиях работ на полях, что в

дальнейшем позволяет принимать решения по оптимизации: корректировать графики работ, оценивать эффективность труда сотрудников, снижать потери ГСМ [11].

Внедрение технологий точного земледелия в Меньковском филиале Агрофизического НИИ в Ленинградской области показало, что это позволяет повысить урожайность пшеницы до 60-70 ц/га второго класса, а картофеля – до 600-650 ц/га. При этом экономия удобрений и средств защиты растений в среднем за пять лет составила порядка 35%. В других хозяйствах области, применяющих элементы технологий точного земледелия, также получены хорошие результаты: например, урожайность моркови повысилась на 21%, капусты – на 28%. При этом значительно улучшилось качество продукции [11, 43].

Разрабатываемая учеными Томского государственного университета (ТГУ) система позволит уже на этапе планирования получать информацию об основных факторах, от которых зависит конечный результат. Система базируется на использовании современных информационных технологий для разработки высокопроизводительной информационной системы раннего прогнозирования продуктивности сельскохозяйственных культур с использованием технологии больших данных и нейросетевого подхода, оперирует данными измерений, нормативно-правовыми справочниками, содержащими значения выбранных критериев для определенных сельскохозяйственных культур и производственных процессов. Результаты модельных расчетов накладываются на ландшафтные карты и картограммы специального назначения (карты растительности или карты агропроизводственной группировки). Методика практико-ориентированного воздействия разрабатывается системой точного земледелия, которая представляет собой реализуемую систему управления землями сельскохозяйственного назначения, применения удобрений и систему защиты растений, основанную на негенерализованных результатах адаптированного почвенно-агрохимического обследования, данных дистанционного зондирования физиологического и фитосанитарного состояния посевов, а также актуальных агроклиматических показателях.

Разрабатываемая система способна обеспечить управление технологическими процессами с высокой экономической эффективно-

стью – расходы на удобрения снижаются до 40%, на средства защиты растений – до 30, урожайность повышается до 50% [44].

Согласно данным статистических исследований НТЦ «РобоПРОБ», в России площадь пашни, обрабатываемой с использованием оборудования, оснащенного системами точного земледелия, ежегодно увеличивается на 3,5%, в то время как в мире этот показатель превышает 5% [41].

Наиболее популярными системами точного земледелия являются системы параллельного вождения вручную, автоматизированного вождения с подруливающим устройством и автопилоты с гидравлической системой управления.

По результатам опросов 1700 сельскохозяйственных организаций наиболее востребованными в растениеводстве считаются следующие технологии [18]:

- составление цифровых карт и планирование урожайности;
- дифференцированное внесение удобрений;
- мониторинг состояния посевов с использованием дистанционного зондирования;
- мониторинг качества урожая;
- дифференцированное опрыскивание.

Самыми ходовыми инновациями среди американских фермерских хозяйств (по данным опросов) являются [45]:

- сбор и анализ проб почвы (используют 90% респондентов);
- карты урожайности, мониторы урожайности, навигационные GPS-системы (около 80%);
- технологии дифференцированного внесения удобрений и предписывающие карты (60%);
- спутниковые снимки и анализ вегетативного индекса растений (30%).

Основой научной концепции точного земледелия являются представления о существовании неоднородностей в пределах одного поля. Для оценки и детектирования этих неоднородностей используют новейшие технологии: системы глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС), специальные датчики, аэрофотоснимки и снимки со спутников, беспилотных летательных аппаратов, а также специальные программы, разработанные для агроменеджмента.

Полученные данные применяют для планирования посева, расчета норм внесения удобрений и средств защиты растений, более точного предсказания урожайности и финансового планирования [46].

Поиску новых, более точных и недорогих методов решения задачи количественной оценки степени неоднородности внутриполевой изменчивости, определения границ этой изменчивости на заданном сельскохозяйственном поле посвящена работа [47]. Учитывая, что в информационном обеспечении точного земледелия нет альтернативы использования технологий дистанционного зондирования Земли, предлагаемый метод обнаружения внутриполевой неоднородности основан на использовании оптических критериев (индексы отражения), характеризующих особенности спектральных показателей посева при воздействии различных стрессоров. В регулируемых условиях с помощью специального спектрометра были получены конкретный перечень индексов отражения и набор количественных показателей по каждому критерию для оценки физиологического состояния пшеницы при оптимальных условиях и дефиците азота и воды. Полученные результаты открывают новые возможности для автоматизации процесса интерпретации гиперспектральных космических снимков с целью идентификации и выявления границ негативного воздействия стрессоров, сдерживающих рост и развитие посевов. Предложена соответствующая алгоритмическая схема реализации разработанного метода.

Учитывая сложность использования вегетационных индексов для разработки рекомендаций по дифференцированной обработке полей, совершенствуются методы создания карт заданий, содержащих информацию о необходимости неоднородного воздействия на почвенный покров внутри поля. Используя технологию ретроспективного мониторинга, можно устранить недостатки работы с дистанционным зондированием Земли и получить наиболее адекватные карты-задания по сравнению с архивными почвенными и агрохимическими картами [48, 49].

С помощью метода ретроспективного мониторинга была создана электронная карта устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия поля валидационного полигона КубНИИТиМ (рис. 7), на основе которой разработаны цифровые карты-задания для закладки

полевого опыта по дифференцированному внесению минеральных удобрений при выращивании озимой пшеницы.

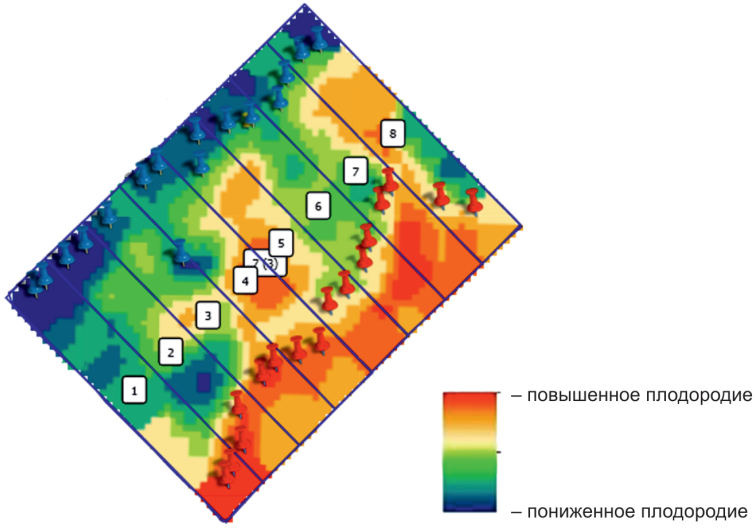


Рис. 7. Карта устойчивой внутриполевой неоднородности опытного поля валидационного полигона КубНИИТиМ

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено следующее [49]:

- озимая пшеница по-разному отзывается на различные дозы удобрений по зонам карты устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почв, полученной анализом больших спутниковых данных;
- при увеличении общей дозы минеральных удобрений до 600 кг/га в зонах низкого и высокого плодородия карты устойчивой внутриполевой неоднородности прибавка урожайности составила порядка 15%, это свидетельствует о том, что карта устойчивой внутриполевой неоднородности может быть интерпретирована как отзывчивость озимой пшеницы на удобрения;
- на основе карты устойчивой внутриполевой неоднородности почвенного покрова можно повысить эффективность применения

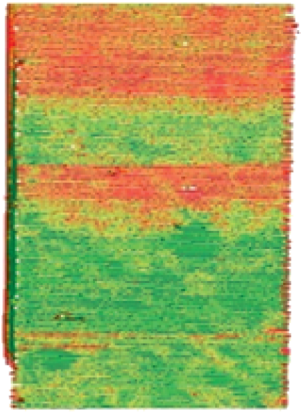
азотных удобрений путем перераспределения имеющихся хозяйственных доз удобрений внутри поля в виде карт-заданий для техники, оборудованной системами точного земледелия.

Ведущее место в технологиях точного земледелия занимают сбор, обработка и хранение данных об урожайности и влажности зерна в процессе комбайновой уборки. Применение карт урожайности в сельскохозяйственном производстве направлено на выявление неравномерности урожая в пределах поля, исследование причин снижения урожайности (дефицит питательных веществ, уплотнение почвы, отсутствие дренажа, зараженность сорняками и др.), применение практических инструментов для принятия агрономических и управляющих решений при различных показателях и вариантах обработки полей [50].

Картирование урожайности является наиболее распространенным компонентом технологии точного земледелия среди фермеров США. Более чем у 70% из них на комбайнах установлена система картирования урожайности. По данным ведущих производителей сельскохозяйственной техники, около 30% зерноуборочных комбайнов фирм «John Deere» и «Massey Ferguson» комплектуются данными системами. Системы картирования урожайности популярны также в Голландии, Германии и Дании [51].

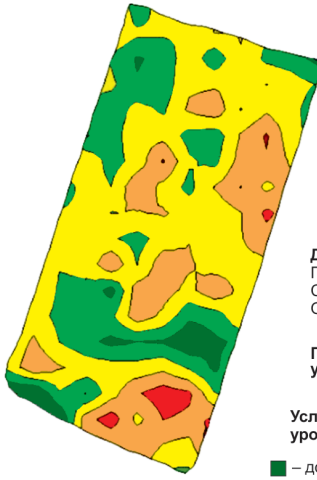
Технология картирования урожайности призвана определить неоднородность главного показателя – урожайности. С помощью специальных датчиков, установленных на комбайнах, а также бортовых компьютеров и приемников GPS в процессе уборки урожая можно получить пространственно ориентированные карты урожайности и влажности зерна, позволяющие осуществлять прогноз урожайности. Основными элементами систем картирования урожайности являются датчики потока и влажности зерна, скорости движения комбайна, положения жатки, DGPS-система, а также бортовой компьютер и дисплей.

К цифровой карте урожайности в реальном времени привязываются показания датчиков урожайности приемником сигналов GPS со спутниковой группировки. Карта урожайности включает в себя данные со всех комбайнов, оснащенных бортовым компонентом системы. Она представляет собой разноцветную карту, на которой каждый цвет соответствует определенному диапазону урожайности (рис. 8).



– 2,4 - 2,5 т/га;
– 2,2 - 2,3 т/га;
– 2,0 - 2,1 т/га;
– 1,7 - 1,9 т/га;
– 1,5 - 1,6 т/га;
– 1,3 - 1,4 т/га

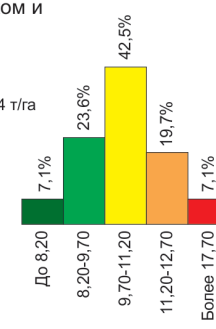
Источник [51]



Карта дает возможность для целенаправленного поиска:
• недостатка удобрений в пятнах с низкой урожайностью;
• проблемных зон, имеющих уплотнение почвы;
• проблемных зон с плохим дренажом;
• зон, пораженных сорняком и паразитами

Дата: 22.10.2004
Площадь поля: 5,2600 га
Среднее значение урожайности: 10,34 т/га
Общее количество: 54,404 т

Гистограмма распределения урожайности по полю



Условные обозначения уровней урожайность [т/га]:

– до 8,20;
– 8,20-9,70;
– 9,70-11,20;
– 11,20-12,70;
– более 12,70

Источник: http://images.myshared.ru/6/669002/slide_45.jpg

Рис. 8. Примеры цифровых карт урожайности

Цифровая карта урожайности показывает, какие участки поля являются наименее урожайными. Вместе с картой агрохимического обследования она используется для создания технологической карты дифференцированного внесения семян, удобрений и средств защи-

ты растений. Оборудование для картирования урожайности включает в себя различные датчики (оптический – объема зерна в бункере, влажности зерна, поперечных и продольных отклонений и др.).

Полученная цифровая карта урожайности вместе с картой агрохимического обследования может использоваться для создания технологической карты дифференцированного внесения удобрений и средств химической защиты растений.

Дифференцированная обработка полей учитывает данные о том, какой участок поля принесет больший урожай исходя из оптимизации затрат и извлечения максимальной прибыли. Возможно решение и противоположной задачи – снижение затрат в соответствии с потенциалом урожая на обеднённых участках поля, что повлияет на изменения в севообороте, конфигурации полей и выборе высеваемых культур [52].

Специальные ГИС-программы проводят не только обработку полученной информации и построение карт урожайности, но и способны осуществлять подготовку подробных отчетов о выполняемых на данном поле сельскохозяйственных работ. Эти отчеты необходимы специалистам предприятий для оценки рентабельности использования конкретных сельскохозяйственных земель, выработки решений по повышению урожайности сельскохозяйственных культур, планированию и использованию земель в будущем [34, 53-54].

Основными направлениями развития систем картирования урожайности являются повышение точности позиционирования комбайна на поле, точности определения урожайности и влажности зерна путем совершенствования датчиков и методов определения его объема, массы и влажности. Погрешность картирования зависит от применяемого оборудования, системы обслуживания, калибровки и не превышает 5% [51].

В целях реализации Концепции национальной платформы «Цифровое сельское хозяйство» Минсельхозом России предложена Национальная платформа «Цифровое сельское хозяйство», основная цель которой – внедрение цифровых технологий и платформенных решений для обеспечения технологического прорыва в агропромышленном комплексе и достижения роста производительности на «цифровых» сельскохозяйственных предприятиях» [55]. Как от-

мечалось выше, Национальная платформа включает в себя шесть подплатформ, объединяющих структурированные наборы сервисов, в том числе подплатформу цифрового землепользования и землеустройства.

Сервисы этой подплатформы позволят накапливать и централизовать данные о землях сельскохозяйственного назначения, в том числе на основании актуальных и объективных данных дистанционного зондирования Земли из космоса, съемки с использованием беспилотных летательных аппаратов, а также удаленного сбора показателей датчиков, размещенных на сельскохозяйственной технике, установленных непосредственно в поле.

Комплексный цифровой профиль земель сельскохозяйственного назначения будет включать в себя как традиционную информацию (границы земельных участков, кадастровые номера, владельцы, контурах полей с данными об их использовании и др.), так и информацию с почвенных, агрохимических, агрофизических карт, карт урожайности. Будет обеспечена привязка всех данных к пространственным координатам, что позволит обеспечить функции геоаналитики, заложена основа для развития технологий точного земледелия и обеспечения доступа к собираемым данным для производителей сельскохозяйственной продукции.

Таким образом, использование цифровых сервисов, комплекса технических и программных средств для точного земледелия позволяет специалистам принимать обоснованные решения, экономить удобрения, средства защиты растений, топливно-смазочные материалы, что в итоге приводит к повышению эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения, снижению себестоимости продукции, повышению производительности и эффективности сельского хозяйства.

2.2.2. Системы оценки и прогнозирования урожайности

Урожайность сельскохозяйственных культур является одним из важнейших факторов, влияющих на планирование и управленческие решения по развитию сельскохозяйственного производства, а прогнозирование урожайности представляет собой научно обосно-

ванную базу современного аграрного производства, позволяющую оптимизировать структуру посевных площадей, уменьшить зависимость урожая от биологических особенностей культуры и ожидаемых агрометеорологических условий.

Системы прогнозирования урожайности основаны на цифровых технологиях мониторинга состояния посевов с учетом влияния природно-климатических условий (рис. 9). Такие технологии позволяют отслеживать динамику развития сельскохозяйственных культур, условия вегетации, определять сроки созревания и оптимальные сроки уборки, проводить оценку урожайности и экономический анализ для конкретных условий производства.

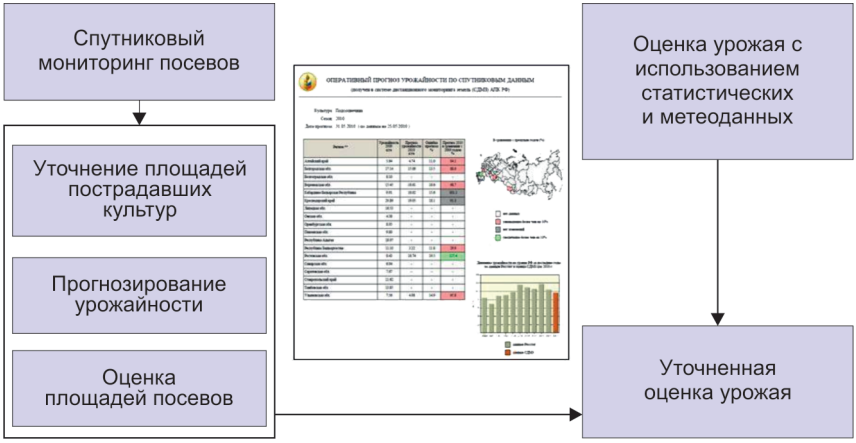


Рис. 9. Модель оценки урожайности и урожая с использованием данных спутникового мониторинга (источник: http://images.myshared.ru/6/750412/slide_8.jpg)

Спутниковые методы прогнозирования урожайности являются наиболее перспективными среди других методов в связи с их объективностью, оперативностью, возможностью охвата больших территорий. Использование результатов прогнозирования урожайности на основе спутниковых данных наряду с результатами, полученными другими методами, позволяет повысить качество прогнозов и их заблаговременность [56].

В основу общей концепции построения модели прогнозирования урожайности положена гипотеза о том, что урожай для любого участка с посевами зависит от показателей вегетационного индекса сельскохозяйственной культуры (набор индексов) в течение вегетативного сезона и особенностей исследуемого региона.

Спутниковый мониторинг посевов с учетом метеорологических условий позволяет использовать космическую информацию для прогноза урожайности, так как установлено, что если состояние растительности хорошее на протяжении всего периода роста, то вероятность получения хорошего урожая также увеличивается. Физическую основу аэрокосмического мониторинга посевов составляют проявление структурных и биохимических изменений растений в спектрах отражения ими солнечного излучения, регистрируемого цифровыми сенсорами, в течение вегетационного периода [57].

Измеряемые характеристики отражения растительных покровов представляются в виде безразмерных вегетационных индексов (NDVI, EVI и др.) и параметров моделей переноса излучения (листовой индекс (LAI), доли поглощаемой солнечной радиации в фотосинтетически активной области спектра (FAPAR) и др.

Один из самых распространенных и применяемых индексов для решения задач, использующих количественные оценки растительного покрова, является вегетационный индекс NDVI, который в определенной точке изображения равен разнице интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазонах, деленной на сумму этих интенсивностей.

Для вычисления этого индекса используется следующая формула:

$$NDVI = R_2 – R_1 / R_2 + R_1 ,$$

где R_2 – значение отражения в ближней инфракрасной области спектра; R_1 – значение отражения в красной области спектра.

Индекс NDVI удобен с практической точки зрения еще и тем, что он свободно доступен в форме безоблачных композитов за продолжительное время [56, 58].

Многочисленные исследования показывают, что по индексу NDVI с высокой достоверностью можно прогнозировать урожайность по-

севов для условий отсутствия на последующий период неблагоприятных метеоусловий. Вегетационный индекс NDVI изменяется весь сезон, его значения различны во время роста, цветения и созревания культур. Наиболее точный прогноз урожайности посевов по данному индексу можно дать в момент прохождения пика значения NDVI, который обычно приходится на фазу колошения (для зерновых) или фазу максимального развития листьев для других культур (рис. 10).

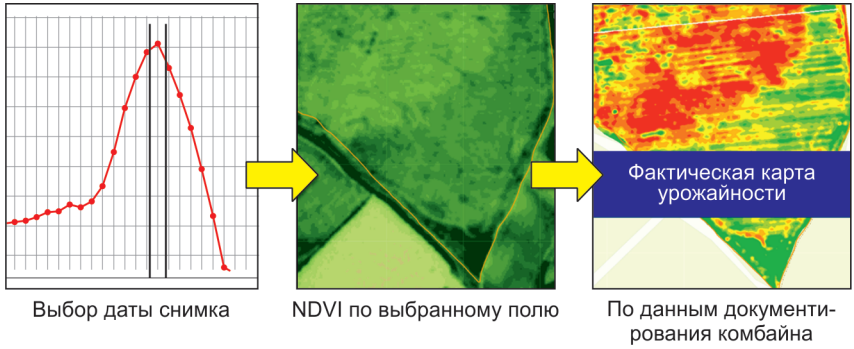


Рис. 10. Схема прогнозирования урожайности по вегетационному индексу NDVI (источник https://avatars.mds.yandex.net/get-zen_doc/1712062/pub_6007d089a1b97e1f1a310028_6007d4b8a1b97e1f1a380975/scale_1200)

Известно несколько методов и подходов прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур, основными из которых являются [56]:

- метод анализа тренда и цикличности в динамичности урожайности;
- метод, основанный на выявлении года-аналога;
- моделирование прироста биомассы растений;
- метод, основанный на анализе синоптических процессов;
- регрессионный метод с использованием спутниковых данных.

Работы по оценке урожайности ведутся в основном по следующим трем направлениям: оценка урожайности по году-аналогу с использованием регрессионного анализа на основе дистанционных и метеорологических наблюдений и имитационного моделирования

[56, 59]. Такие исследования проводятся в Институте космических исследований в рамках создания Системы дистанционного мониторинга земель агропромышленного комплекса.

При прогнозе по году-аналогу считается, что если посевы сельскохозяйственных культур в текущем году развиваются так же, как в каком-либо прошлом сезоне, то урожайность должна быть близка к урожайности этого года-аналога.

При регрессионном методе для прогнозирования урожайности строятся ее значения по данным Росстата за прошлые годы с различными предикторами, получаемыми на основе спутниковых данных, в качестве которых используются вегетационный индекс NDVI, рассчитанный по данным приборов SPOT-VEGETATION (спутники SPOT) и MODIS (спутники Terran Agua), метеоданных о температуре и осадках, карт пахотных земель и посевов.

Третий метод прогнозирования урожайности основан на моделировании ежедневного прироста биомассы растений с начала вегетационного периода. Этот метод позволяет оценить урожайность заблаговременно, в середине сезона вегетации, и может рассматриваться как средство независимого контроля статистической информации, поступающей с мест и позволяющей получить прогнозные оценки урожайности для отдельных полей. Однако метод требует большого объема полевых данных для калибровки применяемых моделей [59].

В работе [60] предложена малопараметрическая модель оценки урожайности сельскохозяйственных культур на i-е сутки вегетационного периода, учитывающая основные метеорологические факторы формирования урожая и легко адаптируемая для различных регионов и сельскохозяйственных культур. В основе модели – динамика биомассы сельскохозяйственных культур на основе данных спутниковых измерений вегетационного индекса подстилающей поверхности и стандартных метеорологических наблюдений (температура, влажность воздуха, осадки и облачность). Труднодоступные для измерений метеорологические параметры, такие как поток солнечного излучения на нижней границе атмосферы и влажность почвы рассчитываются на основе эмпирических формул с коэффициентами, получаемыми для исследуемого региона по данным реанализа.

Настройка моделей биопродуктивности предполагает сравнение результатов моделирования с натурными данными в границах каждого поля и подбор ряда эмпирических констант. Такие модели обладают наибольшей универсальностью и детальностью учета метеорологических условий формирования урожая, однако требуют наличия большого количества метеорологических и агрохимических характеристик, контроль которых для каждого поля является трудновыполнимой задачей [60].

Метод оценки и прогноза среднерайонной урожайности зерновых культур при комплексном использовании наземной агрометеорологической информации и спутниковых данных разработан в ФГБУ «ВНИИСХМ» по спутниковой информации Modis (с сервиса Вега ИКИ РАН, http://pro-vega.ru/) с привлечением данных наземных агрометеорологических наблюдений. Данный подход позволяет своевременно получать более детальную информацию об условиях роста и развития растений и оценке их состояния с целью выработки соответствующих рекомендаций по улучшению условий формирования продуктивности посевов.

Исследования проводились для отдельных субъектов Северо-Кавказского и Приволжского управлений Росгидромета. В качестве методов исследования использовались метод корреляционно-регрессионного анализа и метод обратных взвешенных квадратов расстояний.

На первом этапе между станциями наземных наблюдений на основе метода обратных взвешенных квадратов расстояний осуществлялось построение набора метеопараметров в узлах регулярной сетки. Поскольку данные являются разноразмерными, проводилась предварительная обработка спутниковой и наземной информации путем центрирования и нормирования данных. Для увеличения объема выборки и учета агроклиматической зональности районы были объединены в группы в пределах одного субъекта, сходные по агроклиматическим условиям. Дифференциация территории на зоны осуществлялась на основе карты агроклиматического районирования территории.

Для каждой группы районов были разработаны уравнения зависимости урожайности зерновых культур от спутниковых и агромете-

орологических параметров. По этим уравнениям проводился ежедекадный расчет ожидаемой среднерайонной урожайности зерновых культур за 2017 г. Проверка результатов расчетов показала хорошую сходимость – относительная ошибка не превышала 10% [61].

Практический опыт и методические подходы использования прогнозов урожайности при обосновании структуры посевных площадей сельскохозяйственных культур, базирующейся на учете трех- и четырехлетней цикличности динамики урожаев зерновых культур, примененный в учхозе «Кубань», при апробации модели по данным за 2012-2018 гг. показал их приемлемость как инструмента обеспечения минимальной ошибки прогноза урожайности озимых пшеницы и ячменя, риса и подсолнечника. Менее удачными были прогнозы по овсу и сое, а по кукурузе на зерно результаты были неудовлетворительными [62].

В отличие от метода прогнозирования, базирующегося на формировании прогноза тогда, когда значения вегетационного индекса достигают максимума, разрабатываются подходы, позволяющие сдвинуть сроки прогнозирования урожайности на более раннее время без критического снижения точности прогноза. Так, ошибка прогноза урожайности сои при раннем прогнозировании, выполненная по схеме, приведенной на рис. 11 находилась в диапазоне 5-12% для разных районов, что соответствует достаточно высокой точности разработанной модели раннего прогнозирования урожайности [63].

Широкое использование космических технологий в сельском хозяйстве сдерживается рядом проблем, на решение которых направлены научные исследования:

- высокая стоимость приобретения и эксплуатации оборудования;
- недостаточные надежность спутниковой связи и точности позиционирования GPS;
- сложность обработки данных и недостаточная подготовка персонала сельскохозяйственных предприятий;
- недостаточные точность и надежность получаемой информации, а также частота обновления данных.

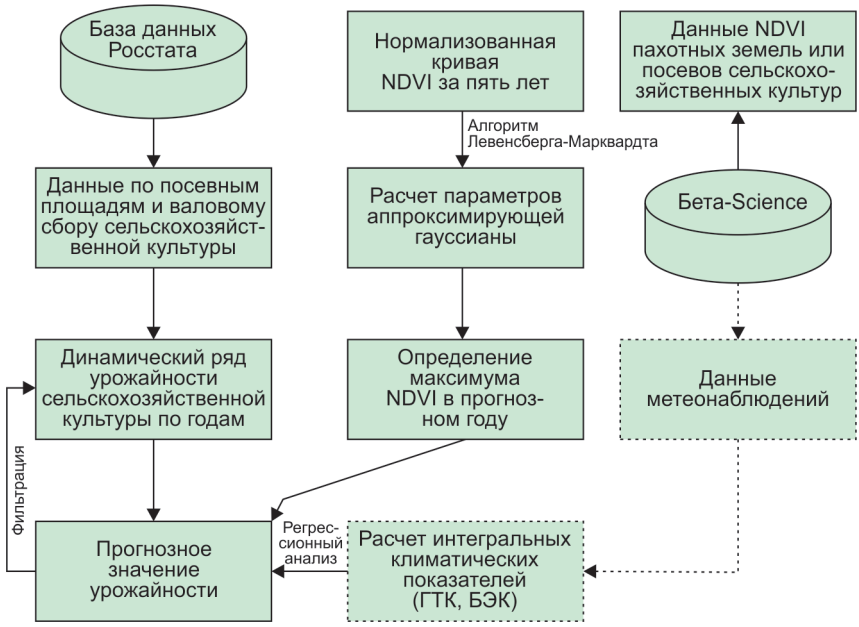


Рис. 11. Общая схема прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур на уровне региона

Особое значение имеет показатель точности прогнозов, который используется для отбора методов и моделей, обеспечивающих разработку прогнозов с минимальной величиной расхождения фактической урожайности от прогнозируемой. Точность прогноза определяется по величине погрешности (ошибки), т.е. разности между фактическим и прогнозируемым значением урожайности. Этот прием оценки точности прогноза используют в ситуации, когда имеются данные о фактической урожайности.

Многолетние исследования и практика применения прогнозов урожайности зерновых культур в планировании структуры посевов в сельскохозяйственных организациях Краснодарского края показали следующее: для кратко- и среднесрочного прогнозирования допустимым является расхождение фактической урожайности с прогнозируемой урожайностью озимых зерновых в пределах до ±10%,

яровых зерновых культур – до ±15%; для долгосрочных прогнозов, представляющих собой среднемноголетнюю урожайность, допустимое отклонение от прогнозируемой величины должно быть не более ±5%. При этом отклонение фактической урожайности от прогнозируемой в пределах ± 10-15% не оказывает существенного влияния на принятие плановых управленческих решений по структуре посевных площадей [64].

2.3. Системы контроля и управления сельскохозяйственной техникой

Уровень управления современного сельскохозяйственного производства в значительной степени определяется интеллекуализацией применяемых технических средств и технологий, обеспечивающих рост производительности труда, снижение затрат на производство продуктов питания и сельскохозяйственного сырья, уменьшение потерь продукции, повышение ее качества. Поэтому в настоящее время сельское хозяйство оснащается машинами нового поколения, конструкция которых постоянно усложняется. Максимальное использование технического и технологического потенциала такой техники может быть достигнуто путем ее интеллектуализации, развитие которой идет в следующих основных направлениях [19]:

- оснащение сельскохозяйственной техники современными цифровыми информационными системами и приборами;
- развитие технологий удаленного контроля и диагностики техники;
- создание беспилотных машин и робототехнических систем.

Повысить эффективность использования техники, снизить материальные и временные затраты на организацию технической и технологической настройки современной сельскохозяйственной техники, контроля ее работы, сбора, обработки и анализа данных о ходе выполнения технологических процессов позволяют системы автоматического сбора, анализа информации и выработки на основе этого управляющих воздействий. Поэтому в последние годы при создании сельскохозяйственной техники прослеживается устойчивая тенденция широкого применения электронных устройств контроля и управления, автоматизированных, компьютеризированных интеллектуаль-

ных систем, обеспечивающих реализацию технологий точного сельского хозяйства на основе широкого использования информационных технологий, средств телекоммуникации, спутниковой навигации и др.

Оснащение сельскохозяйственной техники интеллектуальными системами фактически привело к созданию интеллектуальной, или умной, сельскохозяйственной техники. Интеллектуальные системы позволяют дистанционно контролировать географическое положение машин, отслеживать их эксплуатационные параметры, режимы работы, состояние обрабатываемой среды, синхронизировать работу комплексов машин, управлять качеством выполнения ими технологических операций.

Наряду с применением интеллектуальных систем при создании новой сельскохозяйственной техники постоянно совершенствуются рабочие органы, используются новые конструктивные решения. При этом благодаря интеллектуализации сельскохозяйственной техники возможно не только существенное повышение эффективности ее работы за счет организации оптимального контроля и управления, но и обеспечение комфортных и безопасных условий труда, решение задач по охране окружающей среды [65].

На основе современных информационных и автоматизированных систем контроля и управления технологическими процессами, использования глобальных спутниковых систем позиционирования GPS/ГЛОНАСС автоматизируются многие технологические операции по обработке почвы, внесению удобрений, посеву, уходу, уборке урожая; внедряются технологии точного земледелия, системы параллельного вождения; решаются задачи регулирования положения рабочих органов навесных и прицепных машин, оптимизации загрузки двигателя за счет контроля технологических, энергетических, эксплуатационных и других параметров. Цифровые системы современных тракторов и комбайнов, включающие в себя различные датчики и системы преобразования сигналов, используются для управления работой двигателя, трансмиссией, рабочими органами, системами безопасности, климат-контролем и др. [11, 37, 66].

На основе бортовых компьютеров созданы и внедрены информационные системы контроля технологических и эксплуатационных параметров, связанных с работой сельскохозяйственных агрегатов:

регулирования положения рабочих органов навесных и прицепных машин, загрузки двигателя, контроля давления масла в двигателе, температуры охлаждающей жидкости, расхода топлива и др.

Примером такой системы, созданной в ПАО «Ростсельмаш» для установки на зерноуборочные комбайны, является система Adviser, которая контролирует до 40 параметров работы комбайна, в том числе параметры и режимы работы двигателя, молотилки комбайна и скорости его движения. Применение таких интеллектуальных систем позволяет повысить потенциальные возможности сельскохозяйственной техники, снизить риски от её отказов и связанные с человеческим фактором, создать предпосылки к переходу от ручного к автоматизированному управлению новейшей техникой [66].

Другим примером широко распространенных цифровых систем, устанавливаемых на комбайнах, являются системы картирования урожайности. Полученные картограммы урожайности помогают выявить неоднородность уровня урожайности в пределах одного поля [456].

Несмотря на большое количество различных систем картирования урожайности, все они имеют одно назначение – определение урожайности и влажности зерна с единицы площади, учитывая местоположение комбайна и неровности поля.

Системы картирования урожайности выпускают фирмы «Trimble», «AFS» («CaseIH»), «GreenStar» («John Deere»), «Caterpillar», «FieldStar» (ассоциация «AGCO»), «Agromap», «Quantimeter» («CLAAS»), «Intellcruise» («New Holland») и др. [67, 68].

Применение таких систем дает возможность определять урожайность и влажность зерна с единицы площади с учетом местоположения комбайна и неровностей поля. Как правило, такое оборудование включает в себя следующие компоненты [69]:

- приемник GPS (устанавливается на крыше кабины комбайна);
- оптический датчик или магнитно-резонансный для определения объемного количества зерна (устанавливается в зерновом элеваторе комбайна);
- диэлектрический датчик влажности (устанавливается в тракте движения зерна или в специальном отводном канале);
- датчик поперечных и продольных отклонений (устанавливается на передней оси комбайна);

- электронно-вычислительный модуль определения урожайности;
- бортовую информационную систему;
- карту памяти (флеш-карта);
- калибратор;
- программу картографирования.

Схема размещения системы картирования урожайности CLAAS LEXION представлена на рис. 12.

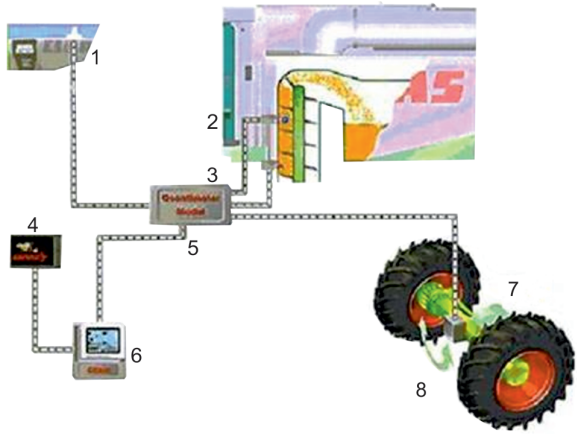


Рис. 12. Система картирования урожайности CLAAS LEXION:
1 – GPS-приемник; 2 – датчик влажности; 3 – оптический датчик;
4 – флэш-карта; 5 – модуль определения урожайности;
6 – бортовая информационная система CEBIS; 7 – передняя ось;
8 – датчики продольных и поперечных отклонений

Мировым трендом интеллектуализации сельскохозяйственной техники в настоящее время является использование систем удаленного мониторинга машин, в том числе контроля технического состояния и диагностирования [3, 8]. Основная задача таких систем – повышение производительности парка сельскохозяйственной техники за счет оптимизации технологического процесса на основе анализа рабочего времени, внесения соответствующих корректив в настройки технологических режимов, сбора, учета и документирования данных, увеличения эксплуатационной надежности машин, перехода технического обслуживания от планового к обслуживанию

по состоянию. В данных системах используются спутниковые навигационные GPS/ГЛОНАСС-технологии, стационарные компьютеры, ноутбуки, планшеты или мобильные телефоны.

Разработкой таких систем занимаются многие отечественные и зарубежные фирмы: «CLAAS», «John Deere», «AGCO», «New Holland», «Case IH», «Ростсельмаш», «Фарватер», «ГЛОНАСС Телематика», «Скаут» и др.

Примером систем удаленного мониторинга машин, позволяющих отслеживать их производительность и управлять ими в реальном времени на компьютере из офиса, а также проводить удаленную диагностику, используя сигналы GPS и беспроводные сети передачи данных, может служить система TELEMATICS фирмы «CLAAS» (рис. 13). С помощью спутников GPS/ГЛОНАСС определяется местоположение машин, а по мобильной связи к единому серверу передаются более 200 различных параметров [66].

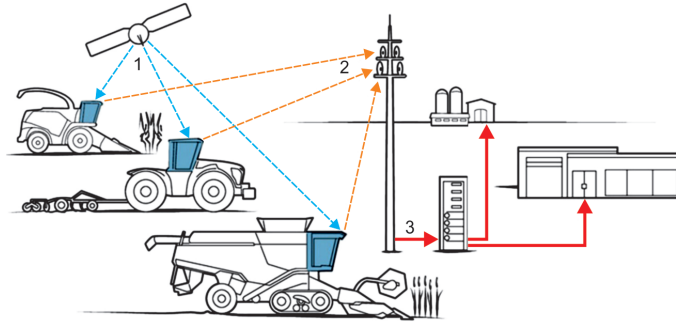


Рис. 13. Схема функционирования телеметрической системы TELEMATICS: 1 – прием данных о местоположении через спутник; 2 – передача данных и настроек машины по мобильной сети на сервер; 3 – вызов данных фермером или удаленная диагностика дилером

Применение системы TELEMATICS на зерноуборочных комбайнах при тестировании в Германии и Великобритании показало, что она сокращает период сбора урожая на три дня, повышает производительность машин на 10%, а коэффициент использования рабочего времени – на 7, сокращает затраты на 0,5%.

Другим важнейшим мировым трендом интеллектуализации сельскохозяйственной техники является создание робототехнических систем и беспилотных машин, которые будут определять конкурентоспособность аграрного сектора в ближайшие пять-десять лет, поэтому в этом направлении интенсивно работают многие отечественные и зарубежные фирмы. Робототехнические системы создаются с целью автоматизации часто повторяющихся монотонных и трудоемких операций, исключения работы оператора машин в опасных условиях, снижения уровня травматизма в сельском хозяйстве. Такие роботы уже созданы для выполнения технологических операций в поле, садах, теплицах и других объектах сельского хозяйства [11].

Наиболее активно работы по созданию беспилотных систем ведутся в США, Германии, Японии, Китае, Великобритании и других странах, кроме разработки систем автоматического вождения сельскохозяйственной техники, где ведущими производителями являются фирмы «John Deere», «Autonomous Tractor Corporation», «AGCO Corporation», «Trimble, Inc.» (США), «CLAAS» (Германия), «CNH Industrial» (Нидерланды). Зарубежные фирмы интенсивно работают над созданием роботизированных тракторов и платформ. Так, компания «Autonomous Tractor Corporation» (США) разрабатывает модульный роботизированный трактор без кабины управления AT400 Spirit с целью обработки, сбора и транспортировки урожая, компании «CNH Industrial» (Нидерланды) и «Autonomous Solutions» (США) создали прототип колесного роботрактора Case IH Magnum для автономной работы в поле, а компания «Autonomous Solutions» – роботизированную платформу Forge Robotic Platform, которая может работать с разнообразными навесными системами (около 100 различных инструментов).

Беспилотная роботизированная платформа Greenbot для выполнения различных повторяющихся работ разработана компанией «Precision Makers» (Нидерланды). Роботизированные телеуправляемые мини-тракторы могут работать с различным навесным оборудованием Robocut и RoboPower компании «McConnel» (Англия) [45].

Многие крупные зарубежные компании готовят к выпуску беспилотные тракторы. Большой задел в создании беспилотных технических систем имеют такие российские компании, как «Яндекс», ФГУП «НАМИ», ПАО «КамАЗ», «Avrora Robotics», ФНАЦ «ВИМ», «Cognitive Technologies», холдинг «Швабе» и др. [66].

3. ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

В цифровой системе управления животноводством важное значение имеет создание единого информационного пространства и многоуровневой цифровой инфраструктуры – от фермы до прилавка, что позволит исключить фальсификацию продукции на всех этапах её производства, создать эффективный инструмент поддержки и принятия соответствующих управленческих и административных решений [70].

Развитие хозяйств с автоматизированными системами управления, параметры которых изменяются в зависимости от микроклимата и состояния животных, предусматривает разработку и внедрение на фермах [17, 70] автоматизированной централизованной системы управления «Умная ферма», автоматизированных подсистем управления кормопроизводством, воспроизводством стада и зооветеринарным обслуживанием животных и др., локальных цифровых подсистем управления технологическими процессами (доение, кормление, микроклимат, навозоудаление и др.), автоматизированных рабочих мест (АРМ) ведущих специалистов (ветеринарный врач, зоотехник, инженер).

Кроме того, интеллектуальные системы предусматривают наличие информационно-аналитических блоков по контролю припуска молокоотдачи с операциями санитарной обработки и стимуляции рефлекса молокоотдачи, оценке качества молока, кратности кормления животных в сутки, неравномерности и продолжительности раздачи корма, отслеживанию поставок продукции, взаимодействию с потребителями и др.

Процессы цифровизации управления в животноводстве тесно связаны с живыми организмами, поэтому почти все они интегрируются в системах управления стадом, к которым предъявляются следующие основные требования [71]:

- переход от визуального контроля к контролю через измеряемые параметры;
- уменьшение влияния человеческого фактора при выполнении рутинных производственных операций, а также вводе информации

о производственных процессах с животным в информационную систему;

- переход от реактивного управления (когда меры принимаются как ответная реакция на уже происшедшее отклонение параметров от нормы) к активному управлению (когда такие отклонения только намечаются, с целью активного предотвращения негативных событий);
- минимизация влияния отрицательных индивидуальных особенностей животных на результаты производственного процесса.

Цифровые технологии в молочном животноводстве способны объединить и систематизировать данные, поступающие от чипированных животных; «умных» систем доения; приборов, детально анализирующих качество молока (например, «Хёрд-навигатор»); «сканеров упитанности»; «датчиков активности» животных; кормостанций, миксеров-кормораздатчиков или кормоцехов; систем микроклимата в помещениях и поения животных, автоматических цифровых весов, других видов техники, оборудования и «умных» устройств.

Роботизация процессов производства молока, сбор информации в режиме «онлайн», формирование баз данных (Big Data), разработка и уточнение алгоритмов и цифровых моделей обеспечивают объективное и оперативное «цифровое» отображение объектов управления, минимизируют потребность в постоянном визуальном наблюдении и контроле, оперативно, в полуавтоматическом или автоматическом режиме, производят корректировку управленческих воздействий.

Например, измерение, сбор, хранение и анализ больших объемов данных электропроводности, других показателей биохимии молока в процессе доения, упитанности и живой массы, температуры различных частей тела животных, их активности позволяют оперативно корректировать рацион, выявлять и диагностировать на ранних стадиях мастит, кетоз, ацидоз и другие болезни, определять наиболее благоприятное время для осеменения коров. Это обеспечивает рост производственных и экономических результатов – выход телят и молочная продуктивность, улучшение конверсии корма, снижение расходов на осеменение, убытков от выбраковки коров и издержек на лечение животных [72].

Использование цифровых, автоматизированных технологий производства и управления в свиноводстве и птицеводстве позволило в

сложных экономических условиях и при росте ветеринарных рисков динамично наращивать объемы производства продукции. В молочном животноводстве темпы использования цифровых технологий существенно ниже, однако есть хозяйства, в которых информация, полученная со всех этапов сложных производственных процессов, объединяется на базе единой «цифровой платформы» [73].

Примером компьютеризированной системы управления молочной фермой является система AFIMILK, разработанная израильской компанией «S.A.E. AFIKIM», которая позволяет получать точную в режиме реального времени информацию о каждом животном в отдельности и о стаде в целом, оценивать надои, состояние здоровья животных, их репродуктивное поведение. С её помощью можно контролировать работу доильного оборудования, соблюдение технологии доения и др. Благодаря компьютеризированной системе значительно снижаются потери молока, выбраковка животных, трудозатраты [74, 75].

Система AFIMILK имеет модульную конструкцию, что позволяет поэтапно расширять ее возможности, вплоть до полной компьютеризации молочного комплекса.

Известно, что из-за несвоевременно обнаруженного мастита надои молока могут снижаться на 7-15%. Выявить субклинический маститит, т.е. заболевание до появления клинических признаков, позволяет измерение электропроводности молока интегрированным молокомером. Данные, полученные от каждого животного, в системе AFIMILK сводятся в единую базу, сопоставляются и анализируются, что позволяет своевременно распознать такие болезни, как кетоз, ламинит и др.

Весь процесс доения контролируется с помощью молокомера, который определяет продуктивность каждой коровы, отвечает за действие вакуумного клапана, пульсацию, додаивание, измеряет скорость молокоотдачи, что лежит в основе своевременного снятия подвесной части доильного аппарата. Программное обеспечение системы AFIFARM осуществляет обработку данных, поступающих от всех функциональных модулей системы. Обработанные данные лежат в основе инструмента принятия оперативных и стратегических решений руководителями и специалистами молочных ферм

по вопросам воспроизводства стада, производительности, здоровья животных, технологии кормления, прогнозирования уровня производства молока, селекции и др.

Для проведения обследования, лечения или осеменения животных, а также взвешивания, определения моторной активности и маркировки животных разработаны соответствующие модули.

В направлении автоматизация молочного и мясного животноводства активно работают многие зарубежные фирмы. Так, голландская компания «Uniform-Agri» специализируется на разработке программного обеспечения для управления стадом и поголовьем. Разработанную этой фирмой программу используют около 6 тыс. фермеров в Нидерландах, Великобритании, Дании, Бельгии, Германии, Италии, Испании, России, Украине.

Программа Uniform Professional Global, разработанная этой компанией, представляет аналитический инструмент для повышения продуктивности стада, с помощью которого можно анализировать воспроизводство, молочную продуктивность и здоровье – три самых важных показателя современного молочного хозяйства. Программное обеспечение обладает мощной и мобильной базой данных, в которой может храниться информация о более чем 10 тыс. голов скота [76].

Главное меню программы Uniform Professional Global включает в себя следующие модули: информация о стаде, управление надоями, воспроизводство стада, лечение/профилактика, поголовье, быки, расчет кормов, экономика, отчеты и др. Пользователь может настроить меню самостоятельно, программа хранит всю информацию о животных в базе данных за весь период их жизни, а также информацию по выбывшим животным. Важно отметить, что эта программа совместима с системой Селэкс, с программными средствами доильных залов различных компаний-производителей доильного оборудования, таких как «DELAVAL», «WESTFALIA», «BOUMATIC», «SAC», «GASCOIGNE MELOTTE» и др., с программами большинства производителей доильного оборудования, такими как «DAIRY PLAN», «ALPRO», «DELAVAL», «WESTFALIA», «MELOTTE» и др.

Система управления стадом ALPRO и DelPro компании «DELAVAL» позволяет круглосуточно и ежедневно собирать и анализировать данные отдельно по каждому животному, предоставляя

важную информацию для долгосрочного планирования и оптимизации молочного производства [77].

Благодаря модульной конструкции возможности системы можно расширять постепенно, начиная с пульсации в доильном зале до полной системы управления стадом на фермах любого размера.

Система управления ALPRO™ позволяет определять следующие показатели: молочная продуктивность стада, групп и отдельных животных, история отгрузки молока, характеристики доения, надои, поток молока, продолжительность доения, мониторинг потребления корма, а также подготавливать отчеты по низкопродуктивным коровам, воспроизводству стада, о работе оборудования, проверке качества молока и др. Данная система обеспечивает двусторонний обмен данными с программой СЕЛЕКС. Графические средства системы позволяют получать наглядные отчеты, списки действий и графики, настраиваемые в соответствии с потребностями.

Инновационная система управления фермой DelPro™ предназначена для привязного содержания животных с интегрированным автоматизированным кормовым вагоном для раздачи концентрированных кормов. Основа DelPro™ – обмен данными между программой управления фермой и устройствами, участвующими в технологических процессах [78].

Доильные аппараты, подвесной кормораздатчик концентратов, блок системного контроллера в коровнике путем беспроводной связи посылают данные на центральный компьютер в офис, который накапливает и анализирует полученную информацию. Сбор и обработка данных позволяют увидеть информацию как по отдельной операции, так и по хозяйству в целом. Находясь в офисе, можно управлять параметрами всех устройств, интегрированных в систему DelPro™, которая ведет хронологию событий с момента рождения животного и на протяжении всей его продуктивной жизни, помогает избегать пропусков сроков охоты или выявления стельности животного, времени запуска и срока отела, что способствует сокращению сроков окупаемости затрат на воспроизводство стада, снижению экономических потерь.

Применение кормового вагона позволяет выдавать корове индивидуальную, точно взвешенную с помощью электронной весо-

вой системы порцию кормов. Это исключает тяжелый ручной труд, концентрированные корма раздаются до 6 раз в сутки, распределяя дневной рацион на более мелкие порции (как правило, на фермах с привязным содержанием концентраты раздаются вручную всего 2 раза в сутки).

Частое кормление мелкими порциями и точно по расписанию постоянно поддерживает pH рубца на оптимальном уровне, что является хорошей профилактикой заболеваний нарушения обмена веществ. Индивидуальная раздача позволяет обойтись без постоянной сортировки дойного стада по группам, что повышает стрессоустойчивость коров.

С внедрением новой системы автоматического кормления концентратами DelPro™ с использованием кормового вагона в Рязанской области повысились молочная продуктивность и качество молока: средняя продуктивность на фуражную корову – на 11,4%, сократилось число дояров – на два человека, при этом улучшилось качество молока, уменьшилось количество коров, больных маститом, до 1,2% [78].

Таким образом, практика применения данных, собранных с помощью системы DelPro™, позволяет использовать их для планирования, прогнозирования производства молока и обеспечивают точную информационную поддержку в процессе принятия решений.

Исследования показывает, что стоимость кормов составляет 30-50% себестоимости продукции, поэтому кормление является одним из наиболее важных аспектов при разработке систем управления на фермах мясного и молочного скотоводства, где больше возможностей для совершенствования производства. Применение точных и управляемых систем кормления позволяет достичь экономии ежедневной стоимости корма на 4%, а также уменьшить остатки на 1% и более.

Разработанная компанией «Digi-Star» система TRM Tracker предназначена для точного управления кормлением скота, что позволяет полностью контролировать расходы на кормление, повысить эффективность и объем производства животноводческого хозяйства [79, 80].

Другая система управления процессом кормления V-DAIRY Feeder компании «Bernard van Lengerich Maschinenfabrik GmbH &

Co. KG» (Германия), действующая через сеть Интернет, обеспечивает эффективный процесс кормления с документальным подтверждением. Данная система работает с кормосмесителями [81].

В отечественных разработках автоматизированной системы управления фермой также принят принцип модульности, так как в таких системах при выходе из строя одного модуля другие продолжали работать.

Разрабатываемая автоматизированная система включает в себя 11 модулей, спроектированных на платах Arduino [82], в их числе системы сортировочных ворот, мониторинга массы каждого отдельного животного, совмещенная с системой сортировочных ворот, мониторинга температуры животных, учета численности вошедших и вышедших на ферму животных с помощью радиометок, индивидуальной подкормки микроэлементами и витаминами, измерения индивидуального объема надоенного молока у каждой особи и др.

С помощью данной системы управления будут достигнуты автоматизация производства, повышение производительности труда, прогноз экономии на заработной плате за счет уменьшения количества работников, уменьшение отрицательного влияния человеческого фактора на деятельность предприятия, так как будут вовремя проведены ветеринарные мероприятия, подобрана индивидуальная подкормка и др.

Автоматизация позволяет оптимизировать все технологические процессы и ветеринарные мероприятия при привязном содержании животных. Стойла оборудуются автоматизированной привязью, которая позволяет сократить затраты труда работников и повысить их безопасность, а также обеспечивает свободный выход животных из помещений при пожаре. Для этого стойловые помещения, кормоприготовительные, молочные и подсобные помещения оснащаются системами автоматической пожарной сигнализации [83].

Фирмой ООО «Концепт» (Россия) разработан программный модуль «Оперативный учет на фермах КРС» для «1С: Управление производственным предприятием» на базе «1С: Предприятие 8» [11, 84]. Подсистемы модуля позволяют решать следующие задачи:

- количественно-весовой учет КРС;

- управление воспроизводством стада;
- учет надоя, реализации и расхода молока;
- учет ветеринарных мероприятий и анализ здоровья стада;
- учет кормов и рационов кормления животных;
- расчет заработной платы сотрудников с учетом производственных показателей предприятия.

Подсистема «Учет молока» (рис. 14) контролирует надой молока как по каждой корове, так и сводный показатель валового надоя на ферме, а также его реализацию (в том числе сотрудникам предприятия) и расходы на выпойку телят.

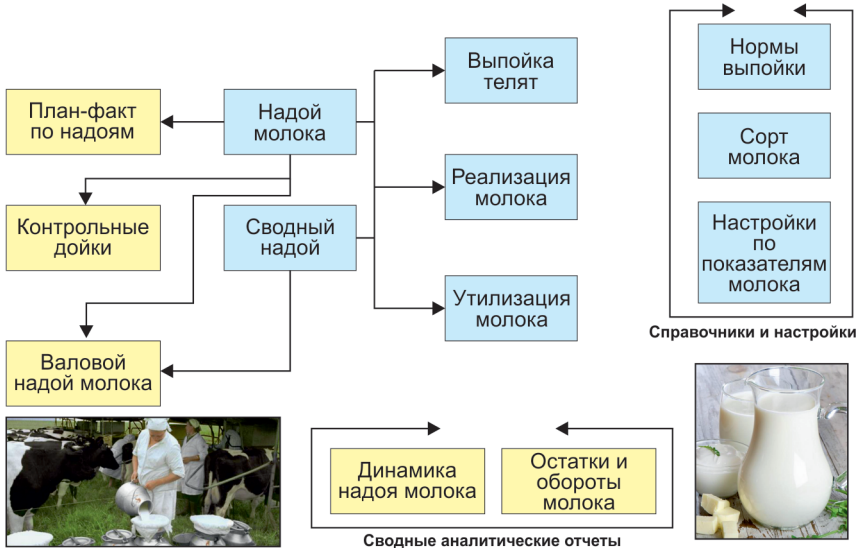


Рис. 14. Структура подсистемы «Учет молока»

Для решения других задач разработаны соответствующие подсистемы. Например, подсистема «Ветеринария» позволяет отражать следующие мероприятия: осмотр, лечение животных, диагностические исследования, ветеринарные обработки, профилактические мероприятия.

Подсистема «Учет кормов» (рис. 15) позволяет вести в программе учет рационов кормления животных, отражать движения ингредиен-

тов для приготовления кормов, их производство и списание (кормление животных), а также учитывать суточную потребность животных в кормах.

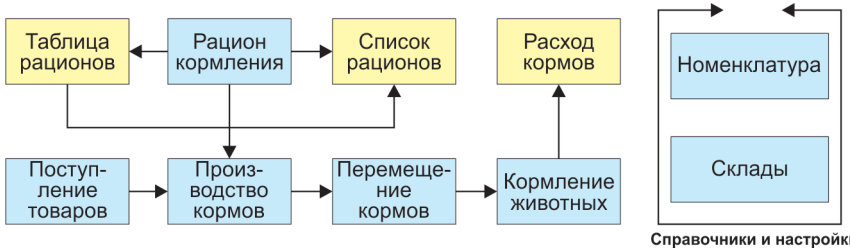


Рис. 15. Структура подсистемы «Учет кормов»

Модуль «Оперативный учет на фермах КРС» интегрирован в комплексную отраслевую ERP систему – «ЦПС: АгроХолдинг», что является существенным преимуществом по сравнению со специализированными самостоятельными программами.

Интеграция оперативного контура учета с другими подсистемами комплексной системы управления предприятием позволяет проводить план-фактный анализ, контролировать производственные показатели, осуществлять перенос данных в подсистему бухгалтерского учета.

Работа с программным модулем «Оперативный учет на фермах КРС» возможен в режиме обычного и управляемого приложений (в том числе через Web-браузер). При работе в обычном приложении доступ к документам, справочникам и отчетам системы осуществляется через интерфейс «Индивидуальный учет на фермах КРС».

Программа цифровизации селекции и научных разработок по молочному скотоводству, а также модель региональной системы управления животноводством внедрены в Уральском регионе. Программа цифрового инновационного развития молочной продуктивности коров (NOA), обеспечивающая автоматизированное ведение племенного и зоотехнического учета в данном регионе, а также общее управление стадом, функционирует более пяти лет [85].

«Умное стадо» в животноводстве представляет собой сложную взаимосвязанную систему со множеством прямых и обратных свя-

зей, включающую в себя несколько подсистем – от научных исследований до реализации товарной продукции.

Анализируя цифровые инвестиционные процессы в животноводстве, можно выделить три типа инноваций: селекционно-генетические, производственно-технологические, организационно-управленческие.

Инновационная цифровая технология повышения качества молока и молочных продуктов внедрена в СПК «Коелгинское» Челябинской области, которая заключается в применении электромагнитного излучения КВЧ мм – диапазона на частоте 129 ГГц при воздействии на молочную железу аппаратом «Орбита» во время доения коров.

В результате в молоке повышается содержание жира, общего белка, белковых фракций и альбуминов, возрастает концентрация иммуноглобулинов, лактоферрина, лактозы, мурамедазы и сычужной свертываемости, снижается количество соматических клеток, лактопероксидазы, СОМО, плотность, кислотность и содержание сухого вещества.

Прогнозная оценка экономических и производственных показателей данной разработки показывает возможность увеличения продуктивности молочных коров на 10-15%, снижения издержек технологии производства молочных продуктов на 15-20%, повышения эффективности модернизированного инновационного производства экологически безопасных молочных продуктов на 25-35%.

Рабочим инструментом для повседневного управления пастбищным и молочным хозяйством является электронная цифровая карта, с помощью которой дается прогноз привлечения материальных, трудовых и финансовых ресурсов, рассчитывается стоимость используемых кормов, произведенного молока, осуществляются постоянный контроль и учет за работой всех участков молочно-пастбищного хозяйственного комплекса с ежедневным определением произведенных затрат по каждому виду продукции с занесением соответствующих записей в журналы учета.

Современным животноводческим предприятиям приходится решать много специфических задач для обеспечения стабильного роста производства таких, как [86]:

- сложность отслеживания и контроля над перемещением поголовья;
- точность и регулярность контроля над питанием и активностью животных;
- длительность и сложность процесса фиксации различных активностей (взятие проб, проведение анализа, вакцинация, сбор и передача информации в государственные органы);
- сложность сбора статистики о состоянии животных;
- неэффективность системы персональной идентификации животных;
- учёт расхода кормов и сопутствующих материалов;
- человеческий фактор, граничащий с конфликтом интересов.

Среди цифровых технологий решения этих задач в последнее время пользуется популярностью технология радиочастотной идентификации (RFID-Radio Frequency Identification), которая активно внедряется для отслеживания перемещения продукции. Решения на основе использования RFID-технологии распространяются в новых направлениях. Так, 79% из опрошенных компаний уже инвестировали в проекты на базе RFID-технологии, а оставшиеся 21% планируют сделать это в ближайшие один-три года. [86]. Радиочастотная идентификация – одна из технологий, которая используется для цифровизации сельскохозяйственного производства.

Анализ показывает, что применение RFID-технологии в животноводстве решает весь комплекс производственных и управленческих задач, начиная от учета поголовья скота, контроля его перемещения и всех текущих показателей, до вакцинации и оптимизации селекционной работы, что обычно остается за периметром стандартных ИТ-решений «умной» фермы, но легко реализуемо в RFID-решении. Таким образом, значительно сокращаются трудозатраты, предупреждается возможность ошибок, вызванных человеческим фактором, ускоряется обработка информации даже в крупных хозяйствах, упрощается выявление положительной и отрицательной наследственности. Все это позволяет значительно повысить доходность сельскохозяйственных предприятий и их конкурентоспособность на мировом рынке.

RFID-технологии в сельском хозяйстве позволяют автоматизировать комплекс задач, включая учет поголовья скота и контроля

его перемещения, сбор точных данных и показателей, в том числе время кормления, вакцинации и оптимизацию селекционной работы. Таким образом, значительно снижаются затраты труда, минимизируется вероятность ошибок, вызванных человеческим фактором, ускоряется обработка информации, упрощается выявление положительной и отрицательной наследственности. Радиочастотная идентификация – одна из технологий, которая используется для цифровизации экономики.

На базе цифровых систем идентификации и датчиков физиологического состояния животных планируется создание:

- базы данных и основных технологий мониторинга поголовья КРС, совместимых с отечественными системами типа «Селекс» в виде [18]:
- автоматизированных технологий и оборудования для проведения бонитировочных работ с обработкой и предоставлением данных в электронном виде;
- комплекса датчиков и программно-аппаратных средств для оценки физиологического состояния и лечения животных;
- приборов для автоматизированного контроля качества молока в потоке на доильных установках (белок, жир, соматика, электропроводность и др.);
- приборов и оборудования для определения соотношения жировой, мышечной и костной ткани на основе биоэлектрического импедансного метода;
- технологий и оборудования бесконтактного дистанционного контроля поведения животных.

В настоящее время приняты программы Научно-технологической инициативы (НТИ): EnergyNet, HealthNet, AeroNet, MariNet, NeuroNet. В соответствии с «дорожной картой» по НТИ российские компании должны активно включиться в реализацию стратегии «умное» сельское хозяйство, где используются автоматизация, искусственный интеллект, большие данные. Программа цифровизации сельского хозяйства вписывается и подходит под стратегию «FoodNet», которая представляет собой «дорожную карту» развития российского сельского хозяйства на основе роботизации, геномики, альтернативных источниках сырья, точного земледелия и др.

Метасегментами «FoodNet» являются «умное» и высокопродуктивное сельское хозяйство, «умные» цепи поставок и др. [87].

Значительные работы по цифровизации молочного животноводства в России, созданию животноводческих комплексов с использованием интеллектуальных систем управления биомашинами и подсистемами разрабатываются в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [70].

Проводимые исследования и разработки направлены на создание автоматизированной системы управления «умной фермой», подсистем управления кормопроизводством, воспроизводством стада, зооветеринарного обслуживания животных, подсистем управления локальными технологическими процессами и др.

Осуществляются разработка и внедрение автоматизированных машинных технологий и технических средств для оценки качества и состава кормов, приготовления и раздачи кормосмесей, роботизированных доильных модулей с почетвертным выдаиванием и мониторингом качества молока и др. По данным исследований, такие модули позволяют снизить заболеваемость коров маститом на 25-30%, отделить аномальное молоко в потоке, повысить сроки хозяйственного использования животных до четырех-пяти лактаций, снизить стоимость в 5-6 раз по сравнению с импортными аналогами.

Внедрение цифровых технологий и интеллектуальных систем управления молочным животноводством, разрабатываемых в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, направлены на развитие отрасли и позволяют:

- снизить уровень импортозависимости отрасли на 35-40%;
- повысить качество и количество производимой продукции на 25-30%;
- повысить производительность труда в основных подотраслях животноводства в 1,5-2 раза;
- сократить издержки производства на 35-40%.

Таким образом, реализация программы по цифровизации животноводства будет являться связующим звеном в построении «Цифровой экономики Российской Федерации» и предусматривает переход российского АПК к высокотехнологичному производству и снижению зависимости от импорта, а также выход российских компаний на перспективные мировые рынки.

Разрабатывается интеграция информационных систем Россельхознадзора и ветеринарных служб в государственно-частную цифровую платформу с целью бесшовного сопряжения систем контроля и надзора в системы управления бизнесом хозяйствующих субъектов с целью идентификации и прослеживаемости животных и включения в сквозные цифровые цепочки полного производственного цикла продукции животноводства [85].

Для выявления проблем, сдерживающих развитие цифровых технологий, определения наиболее приоритетных направлений государственной поддержки цифровизации АПК, разработаны специализированные индексы с целью оценки степени проникновения цифровых технологий в АПК, создается единая информационная система прослеживаемости пищевой продукции с использованием прогнозных математических моделей на базе федеральной государственной информационной системы в области ветеринарии. Компонентом этой системы является система ветеринарной сертификации «Меркурий», функционирующая с 01.07.2018 на всей территории Российской Федерации [88, 89].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ информационных источников показал, что темпы освоения цифровых технологий в мире значительно ускорились, расширилась сфера их применения в сельском хозяйстве, что необходимо учитывать при разработке базовых основ цифровизации сельского хозяйства России. Использование цифровых технологий в российском сельском хозяйстве находится на ранних этапах, однако условия для формирования «цифрового сельского хозяйства» уже созданы.

Так, разработан и реализуется ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство», разработана концепция и предложена Национальная платформа «Цифровое сельское хозяйство России», содержащие основные направления цифровизации сельского хозяйства страны. Мероприятия по цифровизации сельского хозяйства предусмотрены планами развития международной кооперации в рамках ЕАЭС. Портфель отечественных и зарубежных цифровых решений для различных отраслей агропромышленного комплекса включает в себя более 500 наименований, который интенсивно дополняется.

В Российской Федерации многие сельхозтоваропроизводители уже осуществляют внедрение как зарубежных, так и отечественных цифровых продуктов и решений, а также разрабатывают собственные решения, которые базируются на новейших достижениях в области информационных технологий.

Исследования показывают, что повышение производительности труда в сельском хозяйстве в 3-5 раз, невозможное при использовании традиционных моделей управления, можно решить в рамках моделей, базирующихся на цифровых технологиях.

Развитию цифровой трансформации сельского хозяйства России способствуют появление дешевых датчиков, широкополосной мобильной связи, аналитики «больших данных», «облачных» технологий, систем искусственного интеллекта и интернета вещей.

Широкое применение цифровых технологий и систем в растениеводстве позволит оптимизировать производство, хранение, транспортировку, переработку и реализацию продукции, осуществлять производственные процессы в оптимальные сроки с наименьшими

затратами, использовать сельскохозяйственную технику с интеллектуальными системами и программными продуктами, обеспечивающими рост производительности труда, снижение себестоимости продукции, исключение негативного влияния человеческого фактора на результаты производства.

Процессы цифровизации управления в животноводстве тесно связаны с живыми организмами, поэтому почти все они интегрируются в системах управления стадом, позволяющим снизить влияние человеческого фактора при выполнении производственных операций, перейти от реактивного к активному управлению, минимизировать влияние особенностей каждого животного на результаты производственного процесса.

Современные системы управления производством продукции животноводства имеют модульную конструкцию, совместимы с программным обеспечением доильных залов и других систем автоматизации, смстематизируют и анализируют большой объем информации, поступающей с различных устройств, позволяющей оптимизировать технологические процессы и ресурсы предприятия, снижать себестоимость продукции.

В связи с неразвитостью цифровой инфраструктуры в отдаленных сельских регионах, относительно высокой стоимостью систем автоматизации, отдельных датчиков и подсистем идентификации и контроля физиологического состояния животных внедрение цифровых технологий на животноводческих предприятиях потребует разработки специального программно-аппаратного комплекса, системы его сервисного обслуживания, подготовки специалистов по IT-технологиям для компьютеризированных системы управления молочными фермами.

С учетом масштабов и диверсификации сельского хозяйства в России реализация мероприятий по цифровизации сельского хозяйства позволит полностью обеспечить собственные внутренние потребности и международные рынки экологически безопасной качественной продукцией.

Успех цифровизации управления в сфере сельского хозяйства России во многом будет определяться скоростью перехода от внедрения разрозненных IT-решений, применимых в пределах одного

агрохолдинга или одного производителя продукции, к интеграции всех бизнес-процессов с элементами прогностического моделирования. Для широкой цифровой трансформации сельского хозяйства необходимо:

- усилить интеграцию цифровых решений в сельском хозяйстве России;
- совершенствовать систему подготовки кадров для сельского хозяйства, ориентированную на адаптацию специалистов к требованиям цифровой экономики;
- оказывать прямую поддержку сельскохозяйственных производителей, осваивающих технику и оборудование с высокой интеллектуальной составляющей, способной повысить темпы освоения цифровых технологий, конкурентоспособность и инвестиционную привлекательность отрасли;
- осуществлять постоянный мониторинг индикаторов цифровизации агропромышленного комплекса России для принятия мер по устранению негативных явлений при реализации ведомственного проекта «Цифровое сельское хозяйство».

ЛИТЕРАТУРА

1. Ведомственный проект «Цифровое сельское хозяйство»: офиц. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2019. – 48 с.

2. **Козубенко И.С.** Вводим цифровые технологии // Информ. бюл. Минсельхоза России. – 2018. – № 7. – С. 13-19.

3. **Петрова О.Г., Барашкин М.И., Мильштейн И.М.** Цифровое животноводство // «Нивы России». – № 8 (185). – 2020. – С. 78-81.

4. Цифровизация в сельском хозяйстве: технологические и экономические барьеры в России [Электронный ресурс]. URL: -hozyaystve-tehnologicheskie-i-ekonomicheskie-barery-v-rossii-20170913024550 (дата обращения: 14.07.2021).

5. **Щербина Т.А.** Цифровая трансформация сельского хозяйства РФ: опыт и перспективы [Электронный ресурс]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-selskogo-hozyaystva-rf-opyt-i-perspektivy/viewer (дата обращения: 15.06.2021).

6. ИТ в агропромышленном комплексе России [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/images/4/44/Agro_IoT.png (дата обращения: 14.07.2021).

7. Интернет вещей в сельском хозяйстве (Agriculture IoT / AIoT): мировой опыт, кейсы применения и экономический эффект от внедрения в РФ [Электронный ресурс]. URL: https://surfingbird.ru/surf/internet-veshchej-v-selskom-hozyajstve-agriculture--2rFtaa478#.XHeZdrhn3cs (дата обращения: 14.07.2021).

8. **Ткаченко В.В., Лытнев Н.Н.** Разработка комплексной автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений в управлении технологическими процессами растениеводства (на материалах АПК Краснодарского края) // Вестн. Академии знаний. – 2018. – № 29 (6). – С. 249-253.

9. **Буклагин Д.С.** Цифровые технологии управления сельским хозяйством // Науч.-исслед. журн. – № 2 (104). – 2021. – С. 136-144.

10. **Буклагин Д.С., Мишуров Н.П., Балабанов В.И., Зейлигер А.М., Петухов Д.А.** Цифровые технологии оценки планирования и прогнозирования использования земель сельскохозяйственного назначения: аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – 90 с.

11. **Федоренко В.Ф., Мишуров Н.П., Буклагин Д.С., Гольтяпин В.Я., Голубев И.Г.** Цифровое сельское хозяйство: состояние и перспективы развития. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 316 с.

12. «Интернет вещей» (IoT) в России. Технология будущего, доступная уже сейчас [Электронный ресурс]. URL: https://www.pwc.ru/ru/publications/iot/IoTinRussia-research_rus.pdf (дата обращения: 14.07.2021).

13. Методические рекомендации по разработке регионального индекса цифровизации агропромышленного комплекса: инструк.-метод. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2019. – 112 с.

14. Проследить за качеством // Информ. бюл. Минсельхоза России. – 2018. – № 12. – С. 1.

15. «Цифра» – новое качество АПК // Информ. бюл. Минсельхоза России. – 2018. – № 12. – С. 28-29.

16. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 404 с.

17. Концепция научно-технологического развития цифрового сельского хозяйства «Цифровое сельское хозяйство» [Электронный ресурс]. URL: https://www.mcxac.ru/upload/iblock/97d/97d2448548e047b0952c3b9a1b10eded.pdf (дата обращения: 14.05.2021).

18. Цифровая трансформация сельского хозяйства России: офиц. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 80 с.

19. **Buklagin D.S. and Goltyapin V.Y.** Digitalization of crop production: development trends ESDCA 2021 IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 723 (2021) 032022.

20. **Вартанова М.Л., Дробот Е.В.** Перспективы цифровизации сельского хозяйства как приоритетного направления импортозамещения // Эконом. отношения. – 2018. – Т. 8 – № 1. – С. 1-18.

21. **Ткаченко В.В., Василенко А. И., Милега Ю.А.** Учет и анализ данных книги истории полей севооборотов с применением технологий автоматизированного хранения и обработки информации // Науч. журн. КубГАУ, № 157 (03), 2020 [Электронный ресурс]. URL: http://ej.kubagro.ru/2020/03/pdf/28.pdf . (дата обращения: 14.07.2021).

22. **Буклагин Д.С., Мишуров Н.П., Труфляк Е.В.** Цифровые технологии в землепользовании и землеустройстве: аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 104 с.

23. **Якуб А.В., Приходина М.В., Нардин Д.С.** Функциональные возможности информационно-аналитической системы «ГЕО-Агро» для программирования урожая сельскохозяйственных культур // Электронный науч.-метод. журн. Омского ГАУ. – 2016. – № 1 (4) январь-март. – [Электронный ресурс]. URL: http://e-journal.omgau.ru/index.php/2016-god/4/25-statya-2016-1/238-00065. - ISSN 2413-4066 (дата обращения: 15.07.2021).

24. Возможности платформы КлеверFarmer [Электронный ресурс]. URL: https://cleverfarmer.ru/features/ (дата обращения: 14.07.2021).

25. Цифровая платформа для рационального управления растениеводством в агрохозяйствах [Электронный ресурс]. URL: https://www.mcxac.ru/upload/iblock/d8f/d8f299d7e97879ca56a39d246c7e225c.pdf (дата обращения: 14.07.2021).

26. ЦПС: АгроХолдингПродукт [Электронный ресурс]. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Продукт: ЦПС:_АгроХолдинг (дата обращения: 16.07.2021).

27. Кубань (агрохолдинг) [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%9A%D0%BE%D0%BC%D0%BF%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%8F:%D0%9A%D1%83%D0%B1%D0%B0%D0%BD%D1%8C_(%D0%B0%D0%B3%D1%80%D0%BE%D1%85%D0%BE%D0%BB%D0%B4%D0%B8%D0%BD%D0%B3) (дата обращения: 14.08.2019).

28. **Смирнов И.Г.** Разработка технологических процессов и технических средств для интеллектуальных технологий возделывания кустарниковых ягодных культур: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.20.01. М.,2019. 47 с.

29. ИТ в агропромышленном комплексе России [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/images/4/44/Agro_IoT.png (дата обращения: 14.02.2019).

30. Радио Частотная Идентификация (РЧИ) [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/index.php/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D1%82%D1%8C%D1%8F:RFID_(Radio_Frequency_IDentification,_%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D0%B8%D0%BE_%D0%A7%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%98%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%84%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F) (дата обращения: 14.02.2019).

31. Cognitive Agro Control — система автоматического контроля уборки зерновых. [Электронный ресурс]. URL: http://www.tadviser.ru/index.php

/%D0%9F%D1%80%D0%BE%D0%B4%D1%83%D0%BA%D1%82:Cognitive_Agro_Control (дата обращения: 17.02.2020).

32. 30 лет – превращение информации в прибыль: просп. комп. «Pessl Instruments», б/г. – 47 с.

33. **Скотников А.В., Клочков А.В.** Технологии точного земледелия в США [Электронный ресурс]. URL: https://glavpahar.ru/articles/tehnologii-tochnogo-zemledeliya-v-ssha (дата обращения: 16.07.2021).

34. Технологии, техника и оборудование для координатного (точного) земледелия / В.И. Балабанов, В.Ф. Федоренко, В.Я. Гольтяпин и др.: учеб. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 240 с.

35. **Личман Г.И., Марченко Н.М.** Использование космического мониторинга и дистанционного зондирования в системе точного земледелия // ГЕОМАТИКА. – 2011. – № 4. – С. 89-93.

36. **Абросимов А.В., Дворкин Б.А.** Перспективы применения данных ДЗЗ из космоса для повышения эффективности сельского хозяйства в России [Электронный ресурс]. URL: http://www.gisa.ru/49196.html (дата обращения: 14.09.2020).

37. **Федоренко В.Ф., Черноиванов В.И., Гольтяпин В.Я., Федоренко И.В.** Мировые тенденции интеллектуализации сельского хозяйства: науч. аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. – 232 с.

38. **Авдонина И.А.** Точное земледелие – стратегия эффективного развития сельского хозяйства // Науч. вестн. Технологического института – филиала ФГБОУ ВПО Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина. – 2015. – № 14. – С. 5-10.

39. **Рерик Л.** Космические снимки высокого разрешения: меняя облик современного сельского хозяйства // Геоматика. – № 2. – 2015. – С. 44-45.

40. **Гусев А.С., Скворцов Е.А., Морозова Е.Д.** Изучение международной практики внедрения технологий точного земледелия на основе национальных программ развития аграрной сферы зарубежных стран // Russian Journal of Management. – 2020. – Т. 8. – № 3. – С. 121-125.

41. **Максимова Е.** Precision farming для российских аграриев // Агроинвестор. – 2017. – Июль.

42. Липецкая область: цифровые технологии точного земледелия [Электронный ресурс]. URL: http://lipetsk.rostselmash.com/news/57 (дата обращения: 16.07.2021).

43. **Косякова Л.Н., Косяков В.Н.** Точное земледелие в России. Проблемы внедрения // Сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных и студентов. – Санкт-Петербург-Пушкин: ФГБОУ ВО СПбГАУ, 2016. – С. 95-97.

44. **Демкин В.П., Мерзляков О.Э., Хромых В.В., Кужевская И.В., Кривошеин Е.Д.** Современные подходы к системе точного земледелия на основе использования средств сбора информации и анализа больших данных // Сб.: Геоморфология и физическая география Сибири в XXI веке. – 2020. – С. 157-160.

45. «Умное фермерство»: Обзор ведущих производителей и технологий [Электронный ресурс]. URL: https://geoline-tech.com/smartfarm/ (дата обращения: 16.07.2021).

46. **Коротков А.А., Астапов А.Ю., Криволапов И.П.** Элементы технологий точного земледелия // Наука и Образование. – 2020. – Т. 3. – № 3. – С. 132.

47. **Якушев В.П.** и др. Новый метод количественной оценки внутриполевой изменчивости по оптическим характеристикам посевов для точного земледелия // Вестн. рос. с.-х. науки. – № 2. – 2020. – С. 4-10.

48. **Федоренко В.Ф., Рухович Д.И., Королева П.В., Вильчевская Е.В., Калинина Н.В., Трубников А.В., Мишуров Н.П.** Оценка внутриполевой неоднородности почвенного покрова для технологий координатного земледелия // Техника и оборуд. для села. – № 9. – 2017. – С. 2-6.

49. **Мишуров Н.П., Петухов Д.А., Бондаренко Е.В., Иванов А.Б., Семизоров С.А.** Эффективность применения элементов технологии точного земледелия при возделывании озимой пшеницы в производственных условиях // Техника и оборуд. для села. – 2020. – № 5. – С. 12-15.

50. Системы картирования урожайности https://www.newtechagro.ru/catalog/sistemj_kartirovaniya_urojajnosti.html

51. **Иванченко П.Г., Султанов И.И.** Система картирования урожайности и ее элементы при внедрении технологии точного земледелия // Вестн. Курганской ГСХА. – 2020. – № 1 (33). – С. 57-61.

52. Оборудование для картирования урожайности [Электронный ресурс]. URL: https://lektsii.net/4-114494.html (дата обращения: 16.07.2021).

53. **Козубенко И.С., Балабанов И.В.** Интернет вещей в управлении агропромышленным комплексом // Техника и оборуд. для села. – 2017. – № 8. – С. 46-48.

54. **Балабанов В.И., Федоренко В.Ф., Гольтяпин В.Я., Железова С.В., Куликов В.Ю., Петрушин А.Ф., Прокофьев Н.А., Таркивский В.Е., Трубицын Н.В., Худяков А.В.** Технологии, техника и оборудование для координатного (точного) земледелия. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2016. – 240 с.

55. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2019 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 404 с.

56. **Бондур В.Г., Гороховский К.Ю., Игнатьев В.Ю., Мурынин А.Б., Гапонова Е.В.** Метод прогнозирования урожайности по космическим наблюдениям за динамикой развития вегетации // Изв. высш. учеб. завед. Геодезия и Аэрофотосъемка. – № 6. – 2013. – С. 61-68.

57. Мониторинг состояния и развития посевов [Электронный ресурс] URL: https://sovzond.ru/industry-solutions/agro/monitoring-sostoyaniya-posevov/(дата обращения: 14.07.2020).

58. **Буклагин Д.С.** Методы прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // Техника и оборуд. для села. – 2020. – № 12 (282). – С. 25-28.

59. **Савин И.Ю., Барталев С.А., Лупян Е.А., Толпин В.А., Хвостиков С.А.** Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутниковых данных: возможности и перспективы // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2010. Т. 7. – № 3. – С. 275-285.

60. **Лысенко С.А.** Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе спутникового мониторинга динамики углерода в наземных экосистемах // Исследование земли из космоса. – 2019. – № 4. – С. 48-59.

61. **Клещенко А.Д., Савицкая О.В., Косякин С.А.** Оценка среднерайонной урожайности зерновых культур по спутниковой информации Modis // Сб. матер. 17-й Всерос. открытой конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». – М.: ИКИ РАН, 2019 (http://conf.rse.geosmis.ru)

62. **Петрик Г.Ф., Прудников А.Г., Логойда Т.В.** Использование прогнозов урожайности в планировании структуры посевных площадей // Тр. Кубанского гос. аграр. ун-та имени И.Т. Трубилина, Краснодар. – № 76. – 2019. – С. 61-66.

63. **Степанов А.С.** Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур на основе данных дистанционного зондирования Земли (на примере сои) // Вычислительные технологии. – 2019. – Т. 24, № 6. – С. 125-133.

64. Прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур: учеб. пособ. / А.И. Трубилин, А.Г. Прудников. – Краснодар: КубГАУ, 2017. – 95 с.

65. **Шило И.Н., Толочко Н.К., Нукешев С.О., Романюк Н.Н., Есхожин К.Д.** Умная сельскохозяйственная техника: учеб. пособ. – Астана: КазАТУ им. С. Сейфуллина, 2018. – 174 с.

66. **Голубев И.Г., Мишуров Н.П., Гольтяпин В.Я., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С.** Системы телеметрии и мониторинга сельскохозяйственной техники: аналит. обзор. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех»,2020. – 76 с.

67. **Иванченко П.Г., Султанов И.И.** Система картирования урожайности и ее элементы при внедрении технологии точного земледелия // Вестн. Курганской ГСХА. – 2020. – № 1 (33). – С. 57-61.

68. **Труфляк Е.В.** Картирование урожайности. – Краснодар: КубГАУ, 2016. – 13 с.

69. Оборудование для картирования урожайности [Электронный ресурс]. URL: https://lektsii.net/4-114494.html (дата обращения: 07.07.2021).

70. **Мамедова Р.А.** Молочное животноводство в России: состояние и перспективы цифровизации // Агроинженерия. – 2020. – № 6 (100). – С. 10-16.

71. **Бурда А.Г, Бурда С.А.** Целесообразность применения электронной системы управления молочным стадом в условиях цифровизации экономики // Науч. вестн. ЮИМ. – 2018. – № 3. – С. 38-43.

72. **Суровцев В.Н.** Освоение цифровых технологий как основа стратегии развития молочного скотоводства [Текст] / Суровцев В.Н. // АПК: Экономика, управление. – 2018. – № 9. – С. 108-117.

73. **Козина А.М., Семкив Л.П.** Использование цифровых технологий при производстве молока // Вестн. Новгородского филиала РАНХиГС. – 2018. – Т. 8. – № 2-1 (10). – С. 13-18.

74. Компьютеризированная система управления молочной фермой [Электронный ресурс]. URL: https://www.agro-vek.ru/p99-kompyuterizirovannaya-sistema-upravleniya-molochnoy-fermoy/ (дата обращения: 20.02.2020).

75. **Буклагин Д.С.** Цифровые технологии и системы управления в животноводстве // Техника и технологии в животноводстве. – 2020. – № 4 (40). – С. 105-112.

76. Программа управления стадом – Uniform Professional Global [Электронный ресурс]. – URL: http://novagrotec.ru/index.php/programma-upravleniya-stadom-uniform-professional-global (дата обращения: 20.02.2020).

77. Система управления стадом ALPRO и DelPro [Электронный ресурс]. URL: http://molsib.com/delaval/капитальное-оборудование/доение/система-управления-стадом-alpro-и-delpro/49-система-управления-фермой-alpro (дата обращения: 16.07.2021).

78. Современное привязное содержания коров с системой DelPro™ [Электронный ресурс]. URL: https://www.dairynews.ru/news/sovremennoe-privyaznoe-soderzhaniya-korov-s-sistem.html (дата обращения: 16.07.2021).

79. TMR Tracker: Строгий контроль кормления КРС [Электронный ресурс].-URL: http://novagrotec.ru/index.php/tmr-trekery (дата обращения: 20.02.2020).

80. Система TMR Tracrer TM Мониторинг. Измерение. Контроль: просп. ООО «НОВАГРОТЕК», б/г. – 4 с.

81. Система контроля процесса кормления CONNET: просп.: Bernard van Lengerich Maschinenfabrik GmbH & Co. KG, б/г. – 10 с.

82. **Волков Г.А., Назарова К.Р., Изиков В.Т.** Автоматизированная система управления фермой // Науч. форум: Инновац. наука: сб. ст. по матер. XIV Междунар. науч.-практ. конф. – М.: «МЦНО». – 2018. – № 5 (14). – С. 25-29.

83. **Манило И.И., Миколайчик И.Н., Воинков В.П.** Автоматизированная система управления привязным содержанием животных // Аграр. вест. Урала. – 2017. – № 12 (166). – С. 58-64.

84. Программный модуль «Оперативный учет на фермах КРС» для «1С: Управление производственным предприятием» на базе «1С: предприятие 8». Руководство пользователя. ООО «Концепт». – 2018. – 118 с.

85. **Петрова О.Г., Барашкин М.И., Мильштейн И.М.** Цифровое животноводство // «Нивы России». – № 8 (185). – 2020. – С. 78-81.

86. RFID-решения Животноводство [Электронный ресурс]. URL: https://www.mikron.ru/capabilities/solutions/rfid-resheniya-zhivotnovodstvo/ (дата обращения: 14.07.2021).

87. Фуднет – новое сельское хозяйство России [Электронный ресурс]. URL: https://ecopolis-po.ru/newslj_view.php?id_article=11 (дата обращения: 16.07.2021).

88. Методические рекомендации по разработке регионального индекса цифровизации агропромышленного комплекса: инструк.-метод. изд. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех». – 2019. – 112 с.

89. Проследить за качеством // Информ. Бюл. Минсельхоза России. – 2018. – № 12. – С. 1.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3
1. СОСТОЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА 5
2. ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В РАСТЕНИЕВОДСТВЕ 16
2.1 Цифровизация управления растениеводством 17
2.2. Цифровые технологии в системах управления продуктивностью растениеводства 35
2.2.1. Системы точного земледелия 35
2.2.2. Системы оценки и прогнозирования урожайности 48
2.3. Системы контроля и управления сельскохозяйственной техникой 56
3. ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ .62
Заключение 76
Литература 79

Дмитрий Саввич Буклагин,
Вячеслав Филиппович Федоренко,
Виктор Иванович Балабанов,
Сергей Александрович Соловьев,
Николай Петрович Мишуров

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ

Аналитический обзор

Редактор *В.И. Сидорова*
Обложка художника *П.В. Жукова*
Компьютерная верстка *А.Г. Шалгинских*
Корректор *В.А. Белова*

fgnu@rosinformagrotech.ru

Подписано в печать 21.10.2021 Формат 60×84/16
Печать офсетная Бумага офсетная Гарнитура шрифта «Times New Roman»
Печ. л. 5,5 Тираж 500 экз. Изд. заказ 440 Тип. заказ 711

Отпечатано в типографии ФГБНУ «Росинформагротех»,
141261, пос. Правдинский Московской обл., ул. Лесная, 60

ISBN 978-5-7367-1658-6

ПОДПИСЫВАЙТЕСЬ НА ИНФОРМАЦИОННЫЙ БЮЛЛЕТЕНЬ МИНСЕЛЬХОЗА РОССИИ

В Информационном бюллетене Министерства сельского хозяйства России узнаете:

- **о проведении аграрной политики страны;**
- **о мерах государственной поддержки аграриев;**
- **о развитии аграрного производства в регионах;**
- **о новых агротехнологиях и достижениях науки и техники;**
- **о новом в жизни сельских территорий.**

В приложении – документы Правительства России и Минсельхоза России.

Подписку можно оформить через редакцию.
Стоимость подписки на 2021 г. с учетом доставки по Российской Федерации – 5289,24 руб. с учетом НДС (10%); за полугодие – 2644,62 руб. с учетом НДС (10%)

Телефоны для справок:
8 (496) 531-19-92,
(495) 993-55-83,
(495) 993-44-04.
e-mail: market-fgnu@mail.ru