

**Технологии информационного общества****ИНТЕГРАЦИЯ ПРИЛОЖЕНИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В  
ЕДИНУЮ ЦИФРОВУЮ ПЛАТФОРМУ АПК****Зацаринный Александр Алексеевич**

*Доктор технических наук, профессор  
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук,  
заместитель директора по науке  
Москва, Российская Федерация  
ipiran@ipiran.ru*

**Меденников Виктор Иванович**

*Доктор технических наук, профессор  
Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук,  
ведущий научный сотрудник  
Москва, Российская Федерация  
dotmed@mail.ru*

**Райков Александр Николаевич**

*Доктор технических наук, профессор  
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, ведущий научный сотрудник  
МИРЭА – Российский технологический университет, ведущий научный сотрудник  
Научно-аналитический журнал «Информационное общество», член Редакционного совета  
Москва, Российская Федерация  
alexander.n.raikov@gmail.com*

**Аннотация**

*Рассматриваются тенденции цифровой трансформации сельского хозяйства в сторону точного производства, воплощенного в прецизионных сельскохозяйственных технологиях, которые требуют сочетания огромного количества многоаспектных, многомерных и многоотраслевых данных с соответствующими технологиями обработки. Среди этих технологий особое место занимают методы искусственного интеллекта. Необходимым условием использования этих методов является достаточный объем структурированных и надежных данных. В работе представлен список наиболее значительных разработок искусственного интеллекта в сельском хозяйстве, предлагаемых рынком, с анализом перспектив их применения. Поскольку данные приложения в настоящее время используются почти во всех известных точных технологиях в сельском хозяйстве, которые развиваются от цифровизации отдельных операций до цифровизации взаимосвязанных систем, основанных на интеграции всех технологических операций, в том числе в смежных отраслях, технологии искусственного интеллекта должны претерпеть интеграционные преобразования в стандарты предлагаемой единой цифровой платформы управления экономикой сельского хозяйства, основанной на математическом и онтологическом моделировании. Переход отрасли на эту единую платформу затруднен из-за лоскутного (позадачного) подхода к информатизации, который преобладает в нашей стране. Предлагается эффективное решение в виде разработки самых передовых технологий искусственного интеллекта в сочетании с методами точного земледелия и точного животноводства на нескольких эталонных объектах.*

**Ключевые слова**

*искусственный интеллект, цифровая платформа, точное земледелие, точное животноводство, математическое моделирование*

---

© А.А.Зацаринный, В.И.Меденников, А.Н.Райков, 2023.

Производство и хостинг журнала «Информационное общество» осуществляется Институтом развития информационного общества.

Данная статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons «Атрибуция — Некоммерческое использование — На тех же условиях» Всемирная 4.0 (Creative Commons Attribution – NonCommercial - ShareAlike 4.0 International; CC BY-NC-SA 4.0). См. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/legalcode.ru>

[https://doi.org/10.52605/16059921\\_2023\\_01\\_127](https://doi.org/10.52605/16059921_2023_01_127)

## Введение

Положительный опыт цифровой трансформации в отраслях развитых стран послужил своего рода спусковым крючком для цифровизации сельского хозяйства, превратив его в промышленное производство. Например, это был 2018 год, когда в Великобритании озимая пшеница была впервые выращена без непосредственного участия людей в поле, на площади в 1 гектар, что дало значительный урожай в 70 ц/га. Все технологические операции от обработки почвы до обмолота зерна выполнялись роботизированными сельскохозяйственными машинами и агрегатами [1]. Наиболее значительное применение цифровых технологий в сельском хозяйстве проявляется в точном земледелии, которое в настоящее время переживает настоящий бум. По сути, оно использует интеграцию новых сельскохозяйственных технологий и высокоточного позиционирования на основе технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), а также дифференцированную высокоэффективную и экологически безопасную сельскохозяйственную деятельность на полях, основанную на подробной информации о химических и физических характеристиках каждого из них, что приводит к необходимости интеграции огромного количества информации, которая может быть обработана только технологиями искусственного интеллекта (ИИ), требующими достаточного количества структурированных и надежных данных. Большие надежды возлагаются и на технологии ИИ в точном животноводстве (ТЧЖ).

В цифровых технологиях сельского хозяйства многие страны видят основное средство повышения эффективности и качества продукции отрасли в мире на фоне исчерпания других факторов ее роста, к которым относятся: получение более продуктивных сортов культурных растений, изобретение более энергоэффективных сельскохозяйственных механизмов, формирование оптимальных систем агротехнологий, появление эффективных средств защиты и подкормки насаждений. Банк Goldman Sachs считает, что применение цифровых технологий дает шанс увеличить производительность отрасли в мире на 70% (\$800 млрд) к 2050 г. При этом ведущими технологиями являются технологии точного земледелия (ТЧЗ), которые приведут к такому росту урожайности, к которому не приводило появление тракторов, химических удобрений, пестицидов, гербицидов и генномодифицированных семян и растений [2]. При этом технологии ТЧЗ эволюционировали от цифровизации отдельных операций до комплекса операций, причем, не только в растениеводстве, но и с интеграцией операций в смежных отраслях. Значительное снижение стоимости цифровых технологий вывело их на такой уровень, что теперь можно получать информацию о каждой операции с любым объектом агробизнеса и связанной с ним средой с точным анализом последствий всех действий. Учет и мониторинг максимально возможного количества сельскохозяйственных процессов становятся основной целью при разработке стратегии цифровизации крупнейших агробизнесов и инжиниринговых фирм мира. Одна из задач использования ИИ в АПК – обобщение, анализ и обработка данных из различных инструментов мониторинга и выработка рекомендаций по результатам такой деятельности.

Поскольку сельское хозяйство России значительно отстает от темпов цифровизации отрасли в развитых странах в условиях отсутствия ясной стратегии в этой сфере со стороны Минсельхоза, то, исходя из российских особенностей, наличия огромного числа факторов, влияющих как на саму отрасль, так и на ее цифровизацию, ограниченности ресурсов, необходим научный, комплексный подход к цифровой трансформации производства с учетом финансовых, трудовых, материально-технических ресурсов. Особенно, это касается технологий ТЧЗ, являющихся интегратором значительного числа сельскохозяйственных технологий, ДЗЗ и ИИ.

### 1 Внедрение технологий искусственного интеллекта в сельском хозяйстве

В настоящее время затраты на ИКТ во всем мире становятся одними из основных ресурсных затрат с прогнозом достичь в 2022 году величины порядка \$4 трлн. [3]. При этом цифровая трансформация экономики требует замены обычного производственного оборудования на цифровизированное. В сельском хозяйстве, например, опыт переделки имеющейся техники под нужды цифровой экономики показал, что этот процесс довольно сложен и дорог. Приобретение же дорогостоящей, наукоемкой, цифровизированной техники и оборудования, для обслуживания которого нужны другие профессиональные кадры, могут позволить себе только крупные хозяйства. Например, в Европе по этой причине лишь 2% предприятий в полной мере использует максимально возможный потенциал цифровой трансформации [4].

Кроме того, на наш взгляд, для успешной реализации цифровой трансформации должны быть выполнены еще три условия: должен быть сформирован социальный мандат, должен быть обеспечен технический уровень, необходимый для эффективной трансформации, а будущие исполнители и потребители должны иметь высокий социальный и образовательный уровень, достаточный для адекватного восприятия и реализации такого инновационного проекта.

В зависимости от ресурсной базы, состояния сельскохозяйственной техники и образования рабочих каждая страна выбирает собственный подход к цифровизации отрасли, выбирая отдельные цифровые технологии. Таким образом, 40–50% предприятий уже используют технологии точного земледелия в США, что составляет около 40% мирового рынка. Мониторинг ферм в США показал, что наиболее востребованными услугами ТЧЗ являются экспресс-анализ почвы (90% хозяйств); мониторинг и картографирование урожайности, аппаратура космической навигации (80%); дозированное внесение удобрений на основании технологических карт (60%); спутниковые снимки, вегетативные индексы посевов (30%) с элементами ИИ. В ЕС почти все страны также обращаются к этим технологиям, причем Германия является лидером по внедрению ТЧЗ.

Как видно из вышеизложенного, не все известные технологии ТЧЗ и ИИ используются даже в США, лидере инноваций в отрасли. Можно отметить, что цифровая трансформация в экономически развитых странах носит во многом экспериментальный характер, с постепенной трансформацией в индустриальный тип. Для ускорения процесса используются следующие подходы.

Так, государственная программа «Трансформация производства продуктов питания: от фермы к столу» была создана в Великобритании с большим объемом финансирования. Одним из механизмов ускорения трансфера научных разработок в производство является создание центров инновационного развития. Считается, что это новая модель взаимодействия государства, аграрной науки и бизнеса. В Германии в соответствии с согласованной концепцией был сформирован междисциплинарный проект Preagro, финансируемый Министерством образования и науки Германии, для поиска и разработки наиболее подходящих технологий для точного земледелия, ДЗЗ и ИИ.

Такие эксперименты привели к появлению интеграционных межотраслевых цифровых подплатформ, основанных на облачных технологиях и сквозных цифровых технологиях [1]. При этом считается, что только такой подход способен обеспечить максимальную эффективность цифровизации производства. Интеграция должна опираться на облачные технологии, потому что в этом случае информация становится доступной для предприятий разного масштаба, а не только для отдельных крупных компаний. Промышленное внедрение этого подхода в мире только начинается. Даже в США массовое внедрение технологий облачной интеграции началось всего 2–3 года назад.

Поскольку практически все известные технологии точного земледелия не могут обходиться без использования приложений ИИ, мы упомянем наиболее значимые из них, предлагаемые рынком разработки ИИ. Например, ИИ используется для распознавания поведения свиней по цепочке от компьютерного зрения и глубокого обучения до принятия решений. В настоящее время программы разведения свиней направлены на интеграцию их поведенческой деятельности [5]. Поведение животных зависит от количества потребляемой пищи, внешней среды и др. Ручное наблюдение за поведением свиней занимает много времени, очень трудоемко, а диагностика сопровождается ошибками. Технологии ИИ, включая компьютерное зрение, являются объективными, неинвазивными, непрерывными и все чаще используются для распознавания поведения скота. Исследования количественно определяют поведение, которое важно для их здоровья, благополучия и продуктивности, такое как агрессия, кормление, хромота, осанка, кусание хвоста и уход за собой. ИИ использует такие методы, как традиционные алгоритмы для извлечения признаков, включая преобразование масштабных инвариантных признаков, ускоренные надежные признаки, двоичные надежные независимые элементарные признаки и т.д.

ИИ развивается также в сторону автоматического контроля поведения бройлеров и кур-несушек [6]. Современные методы включают звуковой анализ, который используется для неинвазивного мониторинга поведения птиц в группах и индивидуально; носимые датчики с устройствами радиочастотной идентификации (RFID), которые могут идентифицировать отдельных цыплят, отслеживать их местоположение и движения и количественно определять

поведенческие особенности; а также технологии визуализации для оценки поведения и раннего предупреждения болезней.

ТЧЖ в настоящее время также активно развивается на основе цифровых технологий. ТЧЖ определяется применением принципов и методов технологического и цифрового проектирования в животноводстве для автоматического мониторинга животных, моделирования и принятия решений. Целью ТЧЖ является автоматический и непрерывный мониторинг здоровья и благополучия животных в режиме реального времени и быстрое создание предупреждающих сообщений. Для обеспечения этого необходимо наблюдать как за группами, так и за отдельными животными. Например, обнаружив движение отдельной курицы с помощью системы RFID, цыплят можно разделить на активные, нормальные и больные.

В настоящее время израильский стартап Taranis предоставляет точную информацию о состоянии растений на основе показаний полевых датчиков, метеостанций и аэрофотосъемки, что позволяет своевременно выявлять такие негативные факторы, как болезни и вредители, дефицит питательных веществ с последующей разработкой рекомендаций по оперативному вмешательству.

Платформа принятия решений Watson для сельского хозяйства от IBM предоставляет рекомендации относительно доз, типов пестицидов и оптимальных сроков их применения в случае риска поражения кукурузы на основе данных дистанционного зондирования Земли (индекс ND-NDVI). Фермеры получают прогнозы урожайности и т.д.

Health Change Maps и Notifications, AI-платформа от Farmers Edge, оперативно информирует фермера об эффективности оборудования, состоянии растений, появлении вредителей или болезней, нехватке питательных веществ и т.д. Мобильное приложение Field Manager от Bayer дает пользователю информацию о возможных рисках урожая и рекомендации по их предотвращению на основе обработки данных ДЗЗ и большого количества других данных из соответствующей базы данных.

Платформа Hummingbird Technologies предоставляет аграриям информацию о текущем состоянии и объеме растительной массы, наличии сорняков, дефиците азота в растениях и т.д., формируемую не только на основе данных ДЗЗ, но и за счет использования наземных средства мониторинга и изображения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

В настоящее время активно развивается использование ИИ для борьбы с сорняками и вредителями. Так, Bayer и Bosh разрабатывают технологию интеллектуального распыления, которая распознает сорняк и определяет тип и необходимое количество пестицида. Убийца сорняков от EcoRobotix может самостоятельно перемещаться по полю, распознавать обнаруженные сорняки и обрабатывать их. Утверждается, что эта технология позволит сократить использование гербицидов в 20 раз.

Автономная система WeedSeeker от Trimble выполняет точечное опрыскивание сорняков. Система определяет сорняки с помощью светодиодов, которые сканируют поверхность в красном и инфракрасном диапазоне. Отраженный свет анализируется автоматически, и когда растение обнаруживается, на насадку посылается сигнал, который запускает его точно над сорняком.

ИИ в настоящее время помогает фермерам выбрать методы лечения с расчетом экономических показателей после выявления болезни растений. В основе процесса лежат фото пораженной части растения. Аналогичное мобильное приложение Plantix by Peat под брендом Plantix дает фермерам возможность выявлять более 60 болезней растений. Приложение содержит обширную базу изображений с идентификацией по сортам растений, типам бактерий, болезням и т.д. Приложение «Скаутинг» от Bayer-BASF также помогает диагностировать заболевания, нарушения развития и уровень доступности азота для растений посредством обработки фотографий.

Зарубежный опыт цифровизации животноводства показывает, что практически все технологические операции подходят для цифровой трансформации с использованием ИИ. Вот основные направления этой трансформации, обобщая технологии, приведенные выше. Улучшение качества условий содержания животных за счет интеллектуальных систем управления освещением, микроклиматом, кормлением и удалением навоза, поскольку комфорт животных влияет на их продуктивность. Подбор породы. Селекция позволит провести точное разведение в соответствии с указанными требованиями и свойствами (отсутствие генетической предрасположенности к определенным заболеваниям, мясные и молочные качества, скорость

роста и созревания). В настоящее время большие надежды возлагаются на методы ИИ, например, на разработку методов анализа геномной информации для оценки племенной ценности животного в раннем возрасте. В настоящее время проводятся исследования по выбору пола животного, молочной продуктивности и толщины стейка; анализ качества молока; диагностика и профилактика болезней животных; соблюдение санитарно-гигиенических норм.

В ряде сельскохозяйственных предприятий в России также начали внедрять некоторые новые цифровые технологии с применением ИИ, следуя примеру более развитых стран. Однако во многом бессистемный характер внедрения этих технологий на фоне традиционного консерватизма в сельском хозяйстве часто не приносит ожидаемых экономических выгод. Реальных экспериментов по комплексному использованию умных технологий в сельском хозяйстве не так уж и много. Только достаточно крупные предприятия могут позволить себе комплексный подход. Малым агробизнесам, которых на рынке подавляющее большинство, не хватает финансовых ресурсов, стратегически мыслящих экспертов и эффективных примеров системного подхода. Им сложно прогнозировать тенденции интеграционных процессов цифровой трансформации экономики, поскольку они ограничиваются лишь небольшой частью глобальной производственной цепочки. Сегодня в России в основном используется поэтапный, позадачный подход (который также называют лоскутным одеялом и прерывистой информатизацией) при проектировании и разработке систем цифровизации, когда отдельные системы либо производятся самостоятельно, либо закупаются в готовом виде у различных компаний, не связанных между собой онтологически, функционально или информационно, что ведет к своеобразному цифровому феодализму. По этой причине в настоящее время на российском аграрном рынке отсутствуют комплексные, хорошо разработанные, локализованные ИТ-решения для внедрения ИИ. Есть много отдельных предложений, но предприятия сталкиваются с трудностями при адаптации этих решений к своим потребностям и интеграции решений между собой.

В настоящее время страна не готова к полномасштабной цифровой трансформации сельского хозяйства. Это также подтверждается отсутствием интеграционных процессов в программе цифровой экономики в направлении формирования цифровых платформ (ЦП) для управления (ЦПУ) экономикой отраслей и отсутствием генерального проектировщика цифровой экономики с ее научно-экспериментальной производственной базой, а также упомянутый выше цифровой феодализм. Об этом также свидетельствует отсутствие социального мандата на комплексную цифровизацию из-за того, что традиционные факторы повышения эффективности производства и качества продукции в отрасли далеко не исчерпаны.

Также следует учитывать психологический аспект. Обилие цифровых технологий со значительной скоростью их обновления противоречит традиционному аграрному консерватизму, который не позволяет проверить их применимость и эффективность на опыте, поскольку производственный цикл в сельском хозяйстве составляет год, на который существенное влияние в России оказывает система севооборотов, некоторые из которых длятся порой свыше десяти лет. Севообороты в сельском хозяйстве определяют все процессы в отрасли. Они определяют характер обработки почвы, ухода за посевами, способы защитных мероприятий от эрозии земель, состав и объем применяемых удобрений и средств защиты растений, системы применяемых машин и оборудования, рациональное размещение производственных цехов и складских помещений и др. Поэтому такая изменчивость цифровых технологий на фоне длительного цикла сельскохозяйственного производства диктует основной консервативной части работников отрасли оптимальную стратегию поведения – подождать появления надежных сведений об устоявшихся решениях.

Проведенный авторами анализ различных информационных ресурсов (ИР) показывает, что готовность руководителей и специалистов агробизнеса к внедрению технологий ИИ ограничивается проблемами применения этих технологий в сельском хозяйстве, такими как отсутствие свободных денежных средств, высокая стоимость технологий ИИ, недостаточное количество квалифицированных кадров для развития ИИ, ориентация на традиционные (простые) технологии принятия решений, низкий уровень общей культуры ИИ, низкая окупаемость инвестиций в технологии ИИ, недостаточная заинтересованность высшего руководства в инновациях, быстрые изменения цифровых технологий, отсутствие подходящих поставщиков технологий ИИ.

При этом, как и в большинстве работ на эту тему, в АПК никто не упоминает главную проблему использования ИИ, а именно отсутствие данных. ИИ страдает от нехватки данных, потому что чем больше данных дается для решения любой проблемы, тем лучше работает ИИ. Но данные нуждаются в уточнении, поскольку возникают проблемы с ненадежностью, «темными» или «грязными» данными [7, 8].

Таким образом, современные инструменты ИИ дают хорошие результаты в идеальных условиях и определенных контролируемых движениях животных. Однако в реальных условиях решаемые задачи усложняются. Например, особи в стаях перекрываются, что меняет их узнаваемые параметры [9]. Изменения условий окружающего освещения и тени существенно влияют на стабильность датчиков. Необходимы дальнейшие исследования и разработки, чтобы установить коммерческую жизнеспособность и применимость этих систем для мониторинга животных.

## 2 Научный подход к оптимизации единой цифровой платформы сельского хозяйства

Приоритетом в развитии цифровой трансформации современного общества и экономики является повсеместная интеграция разрозненных данных первичного учета в единую систему, ведущую к повышению эффективности цифрового взаимодействия всех участников логистической цепи добавленной стоимости за счет своевременного, качественного и надежного обмена информацией. Данные тенденции все более приобретают и межотраслевые очертания, позволяя увеличить скорость обработки и выполнения заказов.

Данные тенденции затронули и сельское хозяйство. Так, в США в последние 2-3 года наибольший рост в IT-сфере показали облачные платформы и сервисы, основанные на следующих специализированных платформах: платформах-агрегаторах первичного сбора и накопления сельскохозяйственной информации и прикладных платформах (управленческие задачи) [2]. Облачное взаимодействие между этими платформами делает их доступными для хозяйств всех размеров, а не только для отдельных наиболее крупных.

В России концептуальные вопросы такого облачного взаимодействия были проработаны в результате исследований на основе математической модели формирования ЦП для управления экономикой в АПК [10]. С помощью математического и онтологического моделирования удалось выявить ряд цифровых подплатформ, одна из которых представляет облачный сервис сбора и хранения пооперационной первичной учетной информации всех предприятий в единой облачной БД в следующем виде: вид и объект операции, место осуществления, субъект проведения, дата и интервал времени проведения, задействованные средства производства, объем и вид потребленного ресурса. Вторая представляет также облачный сервис единой БД технологического учета всех предприятий. Например, сформирована онтологическая информационная модель растениеводства, общая для всех сельскохозяйственных предприятий России. Третья отражает функциональные управленческие задачи с единым типовым описанием алгоритмов для большинства сельскохозяйственных организаций. Так, с использованием указанного выше инструментария были выделены 240 общих задач в отрасли растениеводства.

Следует заметить, что указанные подплатформы являются результатом эволюционного развития информационных систем (ИС). В ходе ее, как только данные были отделены от программного обеспечения (ПО), с появлением более мощных средств хранения, переработки и передачи информации возникла потребность в тиражировании ИС на некоторый круг предприятий. По нашему мнению, в своем жизненном цикле технологии проектирования ИС прошли четыре эволюционных этапа, на каждом из которых происходила существенная трансформация способов хранения, передачи, обработки и интеграции данных (информационных ресурсов) и ПО, исходя из того факта, что проектное пространство ИС имеет три основных оси измерения: ИР, приложения (автоматизируемые задачи, в том числе методами ИИ) и инструментарий, представляющий из себя общесистемное ПО и электронное оборудование (рис. 1).



Рис. 1. Проектное пространство информационных систем

В ИС первого этапа почти все прикладное ПО разрабатывалось обычно специалистами предприятий. Оно было ориентировано либо на нужды конкретного предприятия, либо на нужды узкого круга однотипных предприятий. При этом требовало значительных затрат на поддержку его. Это был классический, так называемый, позадачный подход. На втором этапе с совершенствованием информационно-коммуникационных технологий (ИКТ), приведших к стандартизации, кооперации и интеграции и уменьшению стоимости ПО, функциональные возможности систем расширились. Данный процесс позволил оптимизировать управленческие функции, методы обработки информации. Третий этап связан с появлением локальных вычислительных сетей (ЛВС), систем управления базами данных (СУБД). На данном этапе уже и ПО, и данные были физически и логически отделены от конкретных вычислительных средств с размещением их на виртуальных компьютерах в узлах ЛВС. Четвертый этап эволюции ИС связан с цифровой эпохой. При этом, начиная со второго этапа, возникла экономическая целесообразность в тиражировании ИС на некоторый круг предприятий, то есть, проектное пространство ИС каждого предприятия (рис. 1) должно быть подвергнуто важнейшей процедуре проектирования ИС – онтологическому моделированию, иначе – функции интеграции разнородных данных и знаний специалистов различных предприятий, порой из разных отраслей экономики.

Для формализации обоснования перехода на методы интеграции и типизации при разработке ИС введем обозначения:  $S = \{S_m\}$  – рассматриваемое множество ИС и  $S_m = \{S_{rmp}\}$ ;  $r = \overline{1, R}$ ;  $m = \overline{1, M}$ ;  $p \in P$ ;  $S_{rmp}$  –  $r$ -я подсистема  $m$ -й ИС для организации  $p$ .  $P = \{P_{oj}\}$ , где  $o$  – индекс, характеризующий отраслевые различия,  $j$  – организационно-экономические, технологические, требования по информационной безопасности и пр. особенности агропромышленного производства.

Пусть  $I_{sm} \left( \begin{smallmatrix} i, UK_1 \\ l \in L \end{smallmatrix} \right)$  – проект  $m$ -й системы на  $i$ -м этапе проектирования (онтологическое моделирование ИР, приложений, физических моделей БД и т.д.) с использованием некоторого множества инструментальных средств  $K_l, K_l \subset K$ ;  $l$  – инструментальное средство,  $l = \overline{1, L}$ ;  $i = \overline{1, I}$ .

Таким образом, процесс проектирования представим в виде

$$I_{sm} \left( \begin{smallmatrix} i, U \\ l \in L_i \end{smallmatrix} K_l \right) \xrightarrow{\Pi(i, i+1)} I_{sm} \left( \begin{smallmatrix} i+1, U \\ l \in L_{i+1} \end{smallmatrix} K_l \right), \quad (1)$$

где  $\Pi(i, i+1)$  некоторый механизм (оператор) проектирования, отражающий создание проекта ИС на языках соответствующих методов и средств разработки. При этом считается, что существует критерий эффективности  $\Phi(\Pi, P, K, S, T)$  процедуры проектирования, принимающий оптимальное значение.

Если проекты  $I_{sm} \left( \begin{smallmatrix} i, UK_1 \\ l \in L \end{smallmatrix} \right), I_{sm} \left( \begin{smallmatrix} i+1, UK_1 \\ l \in L \end{smallmatrix} \right)$  могут быть сформулированы в виде ИР и средств разработки и при этом множество операторов проектирования  $\Pi$  применимо для одной организации  $p = p_0$ , то проектирование называется индивидуальным, если же операторы проектирования используются для группы организаций  $P_1 \subset P$ , то проектирование называется типовым, если же  $\Pi$  не зависит от конкретных  $p$  и  $\Pi(i, i+1)$  представлен в виде инструментальных программных средств – автоматизированным, настоятельная необходимость перехода к которому диктуется всем ходом цифровой экономики (ЦЭ).

В общем случае  $\Pi(i, i+1)$  зависит, помимо  $K_l$ , от ресурсов, выделенных на проектирование  $R_{\Pi}$ ; структуры системы  $G_{sm}$ ; ресурсов ее  $R_{sm}$ , в частности, выделенных средств на приобретение

средств ИКТ; параметров системы  $B_{sm}$ , например, временных, стоимостных характеристик и других ограничений, накладываемых на систему. Для ИС АПК с большим количеством однородных ИР имеет большое значение решение следующей задачи: путем выбора подходящих инструментальных средств проектирования  $C_{II}$  при проведении операции проектирования добиться заданных значений характеристик ИС, где  $D_{sm} \subset D_o$ . Данное требование на практике чаще представимо в виде:

$$W_{sm}^3(\Pi_o) \leq \sum_p \min_{C_{II}} W_{sm}^1, W_{sm}^3(\Pi_o) \leq \sum_q \min_{C_{II}} W_{sm}^2, \quad (2)$$

где  $W_{sm}^n$  - затраты на ИС: при индивидуальном проектировании ( $n=1$ ), затраты при типовом проектировании ( $n=2$ ) и при автоматизированном ( $n=3$ );  $Q$  - множество классов типовых сайтов.

Эти соотношения получили численное подтверждение, визуальное выражение в виде так называемого квадрата Брукса [11]. Квадрат Брукса показывает данные об увеличении затрат при переходе от разработки ПО на основе оригинального дизайна к программному продукту (в 3 раза) и интеграции его в программный пакет (также в 3 раза), что означает, что стоимость программного продукта, тиражируемого и интегрированного в определенную ИС или даже в отрасль, на порядок выше затрат на разработку оригинального ПО при переходе на единую ЦПУ. Таким образом, инвестиции в интегрированные ИС обеспечат уровень самодостаточности развития при внедрении, начиная со второй группы из десяти предприятий, огромный экономический эффект от которых наиболее очевиден для АПК из-за значительного количества предприятий (несколько десятков тысяч).

Таким образом, разнообразие используемых информационных технологий, которые онтологически и функционально преимущественно несовместимы, превратило теоретическую проблему интеграции ИР, приложений и инструментов в крайне актуальную в экономическом и практическом плане задачу интеграции их в единую информационно-управленческую среду во время перехода к четвертому этапу эволюции ИС, связанному с эпохой цифровых технологий. Эта задача не может быть решена без согласования цифровых стандартов по всем осям пространства проектирования ИС.

Формализованное обоснование перехода к методам интеграции и типизации при проектировании ИС в АПК послужило основой для разработки указанной выше математической модели формирования ЦПУ экономикой отрасли [10]. Созданная на базе цифровых стандартов и облачного хранения информации ЦПУ открывает принципиально новые возможности для управления экономикой сельского хозяйства: позволит разработать единые производственные стандартные системы цифровизации, станет основой системы оперативного управления и планирования, инструментом для экономического анализа производства на основе математического моделирования, ИИ, больших данных в различных сечениях от конкретного земельного участка, животноводческой единицы, средств производства или сотрудников на каждом уровне до федерального уровня. Это позволит отслеживать все перемещения животных, оборудования, материальных ресурсов, людей и т.д., даже из одной организации в другую на протяжении всего жизненного цикла их использования. Это значительно упростит статистическую отчетность и учет. Использование технологий блокчейн обеспечит необходимый уровень надежности данных. Оптимизированную единую цифровую платформу для сельского хозяйства полезно представлять как ситуационный центр [12].

### 3 Ситуационный центр АПК

В основе любого управления лежат процессы принятия решений, в которых, как правило, выделяют следующие этапы:

- анализ проблемной ситуации и постановка проблемы;
- определение критериев, разработка и выбор решений;
- организация и мотивация исполнения решений;
- контроль за исполнением решений.

Эта схема имеет высокую степень универсальности по отношению к различным уровням принятия решений индивидуальному, групповому, ведомственному и межведомственному. В настоящее время в России создается система распределенных ситуационных центров, которая

направлена на обеспечение информационно-аналитической и интеллектуальной обработки информационных потоков из различных источников для постоянного повышения качества управленческих решений.

Данная система обеспечивает информационную интеграцию существующих и вновь создаваемых ситуационных центров с использованием единого регламента взаимодействия. В настоящее время он поддерживает процессы стратегического планирования и управления проектами в цифровой среде. Технологический приоритет данной системы – это, прежде всего, аналитический инструментарий, основанный на средствах функционального моделирования, программно-аппаратных комплексах, включая компьютерные технологии, видеоконференцсвязь и визуализацию информации, предназначенный для оперативной оценки проблемной ситуации на основе методов ИИ и обработки больших данных.

При этом разработка интеллектуальных аналитических систем ориентируется на наиболее рациональное использование особенностей мышления человека и каналов восприятия информации. Это связано с необходимостью преодоления нарастающего противоречия между возможностями человеческого интеллекта и постоянным усложнением управленческих задач в условиях взрывного роста информационных потоков. Поэтому особое место в ситуационных центрах занимают системы визуализации, которые работают в связке с технологиями дополненной и виртуальной реальности. В ситуационный центр входят следующие основные группы ИС.

- информационно-аналитические системы;
- системы управления проектами;
- экспертно-аналитические системы;
- системы специального назначения и др.

Необходимость хранения и обработки информации ставит во главу угла, в первую очередь, вопрос информационной безопасности. Это обеспечивается за счет использования специального программного и аппаратного обеспечения и реализации соответствующих организационных мер, гарантирующих конфиденциальность, целостность, доступность и достоверность информации, циркулирующей в системе. Также требуется обеспечение стабильности и надежности соответствующих процедур, анализ последствий принимаемых решений и т.д.

Не менее важный аспект развития ситуационного центра связан с формированием единого распределенного информационного фонда, который должен пополняться всеми заинтересованными органами, организациями и сельхозпредприятиями. Таким образом, ситуационный центр является необходимым атрибутом единой ЦПК агропромышленного комплекса, что требует передового научного и инженерного обеспечения, консолидации ученых из разных областей науки с решением следующих приоритетных задач:

- постоянное улучшение взаимодействия между участниками;
- разработка методов и создание сквозных цифровых технологий, в том числе ИИ;
- ускорение решения проблем эффективности сельского хозяйства и др.

Также очень важно разработать аналитические методы с учетом требований конкурентоспособности и потребностей мирового рынка в агропромышленной продукции.

В качестве методологического и инструментального подхода, обеспечивающего интеграцию различных подсистем и цифровых технологий в единую ЦПУ, целесообразно использовать архитектурный подход, например концептуальную схему построения и развития архитектуры TOGAF [13]. Основная цель архитектурного подхода – связать стратегию развития предприятия со стратегией трансформации его деятельности, основанной на использовании (цифровых) технологий. Предприятие здесь понимается в широком смысле, в частности ферма, компания, архитектурная индустрия, сектор экономики.

## Заключение

Теоретически и на практике доказано, что для реализации научно-технической идеи должны быть выполнены три условия: должен созреть «социальный заказ»; должен быть технический уровень, необходимый для реализации идеи; должен быть достигнут социальный и образовательный уровень населения (будущих потребителей) для восприятия идеи. Поскольку эти условия для внедрения приложений ИИ в АПК России созданы не в полной мере, возможный

выход видится в развитии самых передовых цифровых, включая ИИ, технологий и единой ЦПУ сельского хозяйства в сочетании с точным земледелием на нескольких эталонных объектах – песочницах на разных уровнях территориального деления с поставкой современного программного и аппаратного обеспечения, различного технологического оборудования и машин, задействованных в производственном (мониторинговом) процессе производства, с последующим их массовым внедрением по всей стране. Очень важна взаимосвязь единой ЦПУ сельского хозяйства с распределенной системой ситуационных центров.

## Литература

1. Меденников В.И., Райков А.Н. Анализ опыта цифровой трансформации в мире для сельского хозяйства России // Труды III Всероссийской научно-практической конференции «Тенденции развития Интернет и цифровой экономики» (Симферополь-Алушта, 4-6 июня 2020 г.). ИП Зуева Т.В. 2020.
2. Цифровизации сельского хозяйства в России не хватает данных (2021) URL: <http://www.iksmmedia.ru/news/5533967-Czifrovizacii-selskogo-hozyajstva.html#ixzz6KBD7IYEP>.
3. Gartner: Global IT Spending On Software And Services -- Including Cloud -- On The Rise, 2021. URL: <https://www.crn.com/slide-shows/channel-programs/gartner-global-it-spending-on-software-and-services-including-cloud-on-the-rise>.
4. Как начать внедрять точное земледелие на предприятии (2021) URL : <https://smartfarming.ua/ru-blog/kak-nachat-vnedryat-tochnoe-zemledelie-na-predpriyatii>
5. C. Chen, W. Zhu, T. Norton, Behaviour recognition of pigs and cattle: Journey from computer vision to deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 187, 2021, 106255.
6. N. Lia, Z. Ren, D. Li, and L. Zeng, Review: Automated techniques for monitoring the behaviour and welfare of broilers and laying hens: towards the goal of precision livestock farming. *Animal*, 2020, 14:3, pp. 617–625.
7. D. J. Hand. *Dark Data*. Princeton University Press. Princeton and Oxford., 2020.
8. Dirty Data. <https://www.techopedia.com/definition/1194/dirty-data> (last access 31.10.2021).
9. C. Okinda, I. Nyalala, T. Korohou, C. Okinda, et al., A review on computer vision systems in monitoring of poultry: A welfare perspective. *Artificial Intelligence in Agriculture* 4, 2020, pp. 184–208.
10. Medennikov V., Raikov A. Formation of the Digital Platform for Precision Farming with Mathematical Modeling. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020, 2790.
11. F. Brooks, *The mythical man-month or how software systems are created*. SPb: Symbol-Plus. 2001.
12. N. Ilyin, G. Malinetsky, K. Kolin, A. Zatsarinny, et al., Distributed situational centres system of cutting edge development, *Proceedings of 10th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD)*. 2017.
13. The TOGAF Standard, Version 9.2 Overview: URL: <https://www.opengroup.org/togaf> (last access 31.10.2021).

# INTEGRATION OF AGRICULTURAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS INTO A SINGLE DIGITAL PLATFORM

## Zatsarinny, Aleksandr Alekseevich

*Doctor of technical sciences, professor*

*Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, deputy director for research*

*Moscow, Russian Federation*

*ipiran@ipiran.ru*

## Medennikov, Viktor Ivanovich

*Doctor of technical sciences, professor*

*Federal Research Center "Computer Science and Control" of the Russian Academy of Sciences, leading researcher*

*Moscow, Russian Federation*

*dommed@mail.ru*

## Raikov, Aleksandr Nikolaevich

*Doctor of technical sciences, professor,*

*V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences RAS, MIREA – Russian Technological University, leading researcher*

*Scientific and analytical journal "Information Society", member of the Editorial board*

*Moscow, Russian Federation*

*alexander.n.raikov@gmail.com*

## Abstract

*The paper addresses digital transformation trends in agriculture towards precision production embodied in precision agricultural technologies, which require combining a huge amount of inconsistent, multidimensional, and multi-industry data with appropriate processing technologies. Methods of artificial intelligence (AI) are of particular importance among these technologies. A sufficient amount of structured and reliable data is a prerequisite for using those methods. The paper provides a list of the most significant AI developments in agriculture offered by the market, accompanied by an analysis of their application prospects. Since AI applications are currently used in almost all known precision technologies in agriculture, which are evolving from the digitalization of individual operations to the digitalization of an interconnected system, based on the integration of all operations, including those of related industries, the AI applications should undergo integration transformations into the standards of the proposed unified digital platform for managing the agricultural economics, which is powered by mathematical and ontological modelling. The transition of the industry to this single platform is challenged by a patchwork and discontinuous informatization that dominates in our country. An effective solution is proposed in the form of elaborating the most advanced AI technologies in combination with precision agriculture and precision cattle breeding methods in several reference facilities.*

## Keywords

*agriculture, artificial intelligence, digital platform, mathematical modelling*

## References

1. Medennikov V.I., Raikov A.N. Analiz opyra tsifrovoi transformacii v mire dlya selskogo khozyaystva Rossii // Trudy III Vserossiiskoy nauchno-prakticheskoi konferencii «Tendencii razvitiya Internet i tsifrovoi ekonomiki» (Simferopol-Alushta, 4-6 iula 2020 г.). IP Zueva T.V. 2020.
2. Tsifrovizatsii selskogo khozyaystva v Rossii ne khvataet dannykh (2021) URL: <http://www.iksmedia.ru/news/5533967-Czifrovizacii-selskogo-xozyaystva.html#ixzz6KBD7IYEP>
3. Gartner: Global IT Spending On Software And Services -- Including Cloud -- On The Rise, 2021. URL: <https://www.crn.com/slide-shows/channel-programs/gartner-global-it-spending-on-software-and-services-including-cloud-on-the-rise>.

4. Kak nachat' vnedryat' tochnoye zemledeliye na predpriyatii (2021) URL : <https://smartfarming.ua/ru-blog/kak-nachat-vnedryat-tochnoe-zemledelie-na-predpriyatii>
5. C. Chen, W. Zhu, T. Norton, Behaviour recognition of pigs and cattle: Journey from computer vision to deep learning. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 187, 2021, 106255.
6. N. Lia, Z. Ren, D. Li, and L. Zeng, Review: Automated techniques for monitoring the behaviour and welfare of broilers and laying hens: towards the goal of precision livestock farming. *Animal*, 2020, 14:3, pp. 617–625.
7. D. J. Hand. *Dark Data*. Princeton University Press. Princeton and Oxford, 2020.
8. Dirty Data. <https://www.techopedia.com/definition/1194/dirty-data> (last access 31.10.2021).
9. C. Okinda, I. Nyalala, T. Korohou, C. Okinda, et al., A review on computer vision systems in monitoring of poultry: A welfare perspective. *Artificial Intelligence in Agriculture* 4, 2020, pp. 184–208.
10. Medennikov V., Raikov A. Formation of the Digital Platform for Precision Farming with Mathematical Modeling. *CEUR Workshop Proceedings*, 2020, 2790.
11. F. Brooks, *The mythical man-month or how software systems are created*. SPb: Symbol-Plus. 2001.
12. N. Ilyin, G. Malinetsky, K. Kolin, A. Zatsarinny, et al., Distributed situational centres system of cutting edge development, *Proceedings of 10th International Conference on Management of Large-Scale System Development (MLSD)*. 2017.
13. The TOGAF Standard, Version 9.2 Overview: URL: <https://www.opengroup.org/togaf> (last access 31.10.2021).