

# Разработка эко-системы умных сервисов и интеллектуальной цифровой платформы для управления сельскохозяйственными предприятиями

П. О. Скобелев, С. В. Сусарев, Н. Г. Губанов, Д. А. Мельникова, С. С. Кожевников, Ю. В. Сарбитова  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»  
petr.skobelev@gmail.com, susarev\_sergey@mail.ru, nick\_g\_gubanov@mail.ru,  
melnikovada1988@mail.ru, koz@smartsolutions-123.ru

**Аннотация.** Рассмотрены подходы к проектированию и программной разработке доступной через Интернет информационной системы для поддержки процессов принятия решений и управления производством сельскохозяйственного предприятия. Предложена общая архитектура решения как цифровой эко-системы умных сервисов, способных к совместному взаимодействию в процессе выработки и согласования возможных вариантов управления производством. Показана общая структура организации хранилища знаний для использования сервисами платформы. Более детально рассмотрен жизненный цикл работы отдельных сервисов платформы и отдельные сценарии работы в процессе выработки вариантов решений.

**Ключевые слова:** управление сельскохозяйственным предприятием; автоматизация процессов принятия решений; моделирование процессов; оптимизация; базы знаний; интеллектуальные сервисы; мультиагентные технологии; планирование

## I. ВВЕДЕНИЕ

Методы точного земледелия («Precision Farming», «precision agriculture») представляют из себя разнородный набор производственных технологий, наиболее заметно и динамично развивающихся в последние десятилетия. Один из основоположников методологии точного земледелия доктор П. Роберт в 1994 г. определил точное земледелие как «сельскохозяйственную систему менеджмента, основанную на информации и технологиях для идентификации, анализа и управления с учетом дифференцированных пространственных и временных почвенных вариаций на отдельно взятом поле, для оптимизации затрат, повышения устойчивости агроценозов и экологической стабильности производства» [1]. Главная цель точного земледелия при производстве сельскохозяйственных культур – максимизация урожая, финансовых выгод и минимизация вложений капитала, воздействия на окружающую среду.

Для обеспечения эффективного управления производственной деятельностью сельскохозяйственных

предприятий в последние годы все активнее внедряются новые, современные средства и технологии: используются спутниковые снимки посевов, проводится съемка объектов с беспилотных аппаратов, устанавливаются сети полевых сенсорных датчиков, реализуются программные средства для расчета и точного адресного внесения удобрений, внедряются системы автоматического вождения, разрабатываются специализированные информационно-учетные системы для агрономов и многое другое. Тем не менее для того чтобы гарантировать возможность совместного комплексного использования всех этих решений на практике необходимо обеспечить возможность их функционирования в рамках единой информационной среды, что позволит оперативно и гибко всеми управлять ресурсами предприятия в реальном времени, планировать проведение работ с учетом всей совокупности факторов, оказывающих влияние на их выполнимость и при необходимости адаптировать и корректировать эти планы при появлении новых событий.

Использование инновационных интеллектуальных информационных систем для сельскохозяйственного предприятия способствует выходу отрасли на качественно новый технологический уровень, позволяющий производителям эффективно конкурировать как на местном, так и на международном рынках.

В данной статье рассмотрены общие подходы к проектированию интеллектуальной цифровой платформы, предназначенной для комплексного управления сельскохозяйственным предприятием.

## II. ЭКО-СИСТЕМА УМНЫХ СЕРВИСОВ

При построении интеллектуальной цифровой платформы для управления сельскохозяйственными предприятиями одним из основных моментов является разработка эко-системы умных сервисов.

Основные особенности эко-системы умных сервисов:

1. цифровая платформа для создания эко-систем – принципиально новый шаг в создании сетцентрических систем («систем систем»);

---

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках соглашения №14.574.21.0183. Уникальный идентификатор ПНИ RFMEFI57417X0183

- цифровая платформа разрабатывается открытой (даст протоколы) для подключения новых «Умных сервисов», в том числе, других разработчиков;
- каждый «Умный сервис» – это автономная интеллектуальная система, использующая собственную Базу знаний (часть единой Базы знаний) и построенная на основе мультиагентных технологий;
- автономность такого сервиса предполагает, что каждая система реагирует на события, планирует задачи в своей работе, координирует (делает согласование) с пользователем и контролирует исполнение задачи и получение результата;
- для умных сервисов предлагается виртуальный «круглый стол», на котором они могут согласовывать решения (агент-модератор с протоколами переговоров);
- умные сервисы могут, как конкурировать за своего потребителя, так и кооперировать, например, поставляя средств защиты растений (СЗР) или удобрений;
- имеется единое хранилище данных, откуда сервисы могут брать данные и куда могут складывать результаты;
- Имеются также системные сервисы, которые поддерживают очередь событий, журнал переговоров и принятых решений и т.д.

Структура эко-системы умных сервисов показана на рис. 1.

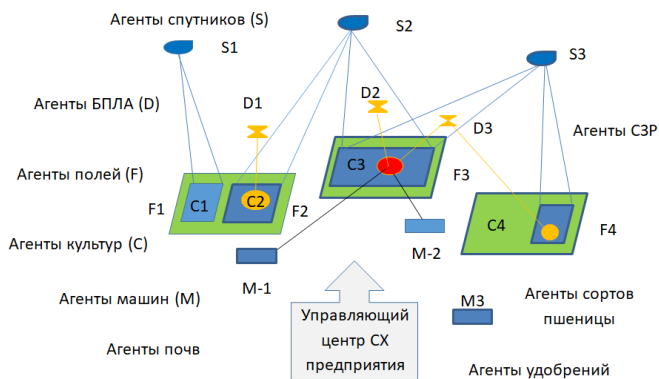


Рис. 1. Структура эко-системы умных сервисов

В хранилище знаний для использования сервисами платформы содержится информация: сведения о культурах и сортах, данные о климатических зонах, показатели продуктивности отдельных сортов культур в различных условиях произрастания, сведения о вредителях и болезнях растений, данные о типах и особенностях почв, технологические карты возделывания культур, правила о допустимости вариантов севооборота, данные о биопрепаратах и удобрениях, информация о сельскохозяйственных машинах и оборудовании, ключевые индикаторы эффективности растениеводства.

Базы знаний на основе онтологий содержат объекты, в виде взаимосвязанных концептов, атрибуты, описывающие эти концепты, и основные взаимозависимости между концептами. Классы концептов организованы в иерархию на принципах наследования. Концепт характеризуется свойствами (атрибутами) [2].

### III. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ЦИФРОВАЯ ПЛАТФОРМА

Интеллектуальная цифровая платформа должна позволить оперативно учитывать изменения в окружающей обстановке, согласованным образом вырабатывать решения с учетом динамических ограничений и противоречивых требований от различных подсистем и тем самым способствовать повышению эффективности производственной деятельности сельскохозяйственного предприятия.

При разработке интеллектуальной цифровой системы основными первоначальными задачами являются:

- разработка функциональной и программной модели, формирующих общее видение и облик решения;
- выбор методов, способов и алгоритмов для работы с производственной информацией;
- определение базовых классов, атрибутов и отношений онтологии предметной области сельского хозяйства для дальнейшей программной реализации компонентов планирования работ и выработки рекомендаций по управлению сельскохозяйственным предприятием;
- формализация требований, проектирование и разработка отдельных функциональных компонентов в составе экспериментального образца мультисервисной платформы согласованного управления сельскохозяйственным производством растениеводческого профиля.

Предлагается использовать мультиагентный подход как основу для построения системы управления сельскохозяйственным производством [3, 4]. Подход обеспечивает возможность адаптивного гибкого управления в распределенных системах агентов, и построения планов в результате самоорганизации в реальном времени с учетом непредвиденных событий. База знаний интегрирует знания всех участников производства, онтология дает возможность настраивать систему в сложных предметных областях, обеспечивая моделями поведения различных групп агентов при выработке согласованных решений.

Функциональная модель цифровой платформы разрабатывается с учетом особенностей организации производственных процессов сельскохозяйственного предприятия. Одной из главных задач разработки является декомпозиция всего цикла производства растениеводческой продукции до уровня отдельных технологических процессов и операций, учет факторов и особенностей, оказывающих влияние на их ход и автоматизация решения производственных задач путем

реализации соответствующего функционала в программных модулях и компонентах платформы.

При этом следует отметить, что всю совокупность производственных задач, решаемых в ходе производственного цикла можно представить как единую задачу – задачу организации эффективного управления ходом производства растениеводческой продукции. Данное определение имеет смысл как с точки зрения управления бизнесом, так и рассматривая его с точки зрения главных специалистов агрономических служб хозяйства.

Входными данными, необходимыми для решения задачи верхнего уровня – планирования и организации производственных процессов сельскохозяйственного предприятия при производстве растениеводческой продукции послужат сведения о текущем состоянии производственных ресурсов предприятия (производственных инфраструктурных объектах, имеющихся на складах расходных материалов) и сведения о средствах, используемых для достижения результата (доступном оборудовании, трудовых и финансовых ресурсах). Задача должна решаться с учетом входных ограничений – ожиданий владельцев и критериев эффективности (в качестве них в агропроизводстве выступают критерии себестоимости, качества и валового сбора возделываемой продукции). Достижение результата возможно управления производственными процессами, направленными на производство продукции (получение урожая).

Для решения поставленной задачи управления производственными процессами агропредприятия в составе программного решения – платформы, предусмотрены следующие функциональные модули:

1. программный модуль управления данными и знаниями о производственных ресурсах сельскохозяйственного производства;
2. программный модуль сбора информации, мониторинга и анализа состояния посевов сельскохозяйственного производства;
3. программный модуль планирования работ и выработки рекомендаций по управлению сельскохозяйственным производством;
4. программный модуль контроля и согласованного управления сельскохозяйственным производством.

Эффективное управление производственными процессами можно реализовать путем планирования всех операций перед началом производственного цикла и адаптивной корректировки сформированных планов работ в ходе сезона в случае появления новых событий, оказывающих влияние на выполнение запланированных работ.

За реализации отдельных специфичных видов производственного планирования отвечают разработанные компоненты модуля планирования работ и выработки рекомендаций:

1. компонент планирования закупок ресурсов сельскохозяйственного производства;
2. компонент планирования сельскохозяйственных операций по защите посевов;
3. компонент планирования сельскохозяйственных операций по внесению удобрений;
4. компонент планирования сменно-суточных сельскохозяйственных операций с применением сельскохозяйственной техники, оборудования и других материальных ресурсов.

Базисом для формирования общих планов проведения технологических операций, планов закупок ресурсов и использования техники является готовые план размещения культур по полям с учетом особенностей почв, истории севооборота и задаваемых пользователем ограничений и технологические карты с подробным описанием технологических операций и используемых в процессе производства расходных материалов.

За процесс планирования севооборотов по полям хозяйства будет отвечать отдельный программный сервис – компонент подбора вариантов сельскохозяйственных культур на производственный сезон севооборота и вариантов технологических карт, также входящий в состав модуля планирования работ.

Планы работ, формируются с учетом действующих критериев и ограничений на весь производственный цикл. Для гарантированного достижения целевых показателей при изменении внешних условий и возникновении новых факторов, оказывающих действие на выполнимость текущих планы последние должны адаптивно корректироваться, изменяться в ходе производственного сезона. При этом задействуется функционал модуля контроля и согласованного управления сельскохозяйственным производством, входящего в состав цифровой платформы, состоящего из следующих программных компонентов:

1. программный компонент поиска простоев техники по данным от телематических систем мониторинга;
2. программный компонент план-фактного анализа показателей работы сельскохозяйственного производства;
3. программный компонент согласования вариантов планирования от различных программных компонентов с целью выбора подходящего варианта плана работ.

Входящие в состав программного модуля контроля и согласованного управления сельскохозяйственным производством компоненты, разрабатываются в виде отдельных сервисов цифровой платформы, и способны взаимодействовать между собой для решения общей задачи, требующей использования данных, обрабатываемых несколькими программами сервисами.

Примером такой задачи является задача составления аналитических отчетов о выполненных работах, о

выполнении планов в конкретный момент времени и прогнозировании достигаемых результатов, об эффективности производственной деятельности хозяйства в целом.

При использовании мультисервисной архитектуры возможно взаимодействие не только компонентов, входящих в состав одного модуля, но и всех сервисов, входящих в состав платформы. Это позволяет решать сложные задачи, требующие учета большого количества разнородной производственной информации. Примером подобной задачи является задача оперативного контроля состояния производственных объектов. Для совместного решения этой задачи применяются такие сервисы как:

1. программный компонент управления производственными объектами сельскохозяйственного производства в составе программного модуля управления данными и знаниями о производственных ресурсах сельскохозяйственного производства, предоставляющий сведения об инфраструктуре хозяйства;
2. программный компонент хранения и визуализации результатов агрохимических анализов почв в составе модуля сбора информации, мониторинга и анализа состояния посевов сельскохозяйственного производства, обеспечивающий данными о химическом состоянии почв.
3. программный компонент подбора вариантов сельскохозяйственных культур на производственный сезон севооборота и вариантов технологических карт в составе модуля планирования работ и выработки рекомендаций по управлению сельскохозяйственным производством, обрабатывающий и предоставляющие на вход процесса данные о распределении культур по полям
4. программные компоненты расчета индексов вегетации посевов по данным спутниковой съемки и/или снимкам с беспилотных летательных аппаратов, расчета процента всхожимости посевов по данным снимков с беспилотных летательных аппаратов, поиска и определения размеров проблемных зон неоднородного развития посевов по данным спутниковой съемки и/или снимкам с беспилотных летательных аппаратов, предоставляющие полные точные данные о состоянии всходов
5. программный компонент план-фактного анализа показателей работы сельскохозяйственного производства модуль контроля и согласованного управления сельскохозяйственным производством, способный сравнить предоставленные другими

сервисами фактические данные с запланированными.

Мультисервисный подход позволяет добавлять новый функционал, решать новые типы задач без факторинга программной архитектуры и глобального изменения существующих сервисов, добавляя новые сервисы, обрабатывающие отдельные типы данных, способные к взаимодействию с уже существующими компонентами цифровой платформы.

#### IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектируемая интеллектуальная цифровая платформа для управления сельскохозяйственными предприятиями развивается по нескольким взаимно дополняющим направлениям:

- развитие эко-системы умных сервисов, способных к совместному взаимодействию в процессе выработки и согласования возможных вариантов управления производством;
- повышение степени автоматизации процессов принятия решений для реализации полного цикла управления сельскохозяйственным предприятием;
- развитие цифровой платформы как единой точки входа, основы развития сообщества экспертов в области сельского хозяйства;
- развитие цифровой платформы как системы моделирования производственных процессов, включая модели почв, модели роста и развития растений.

Таким образом, проектируемая интеллектуальная цифровая платформа призвана обеспечить эффективное управление производственной деятельностью сельскохозяйственных предприятий, и способствует выходу производственных процессов сельскохозяйственных предприятий на качественно новый технологический уровень.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Труфляк Е. В. Основные элементы системы точного земледелия / Е.В. Труфляк. Краснодар: КубГАУ, 2016. 39 с.
- [2] Е.В. Симонова, А.А. Жилев, В.С. Травин. Мультиагентная система планирования целевого применения группировки космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Труды XVIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах», Самара, 20-25 сентября 2016. г. Самара: ОФОРТ, 2016. С. 163-170.
- [3] Скобелев П.О. Интеллектуальные системы управления ресурсами в реальном времени: принципы разработки, опыт промышленных внедрений и перспективы развития // Приложение к теоретическому и прикладному научно-техническому журналу «Информационные технологии». 2013. №. 1. С. 1-32.
- [4] Rzevski G., Skobelev P. Managing complexity. Wit Press, 2014.