ПРИНЦИПЫ И ОСНОВЫ РАЗВИТИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ОПЫТНЫХ ПОЛЕЙ

В.Д. Попов, д-р техн. наук, академик РАН

В.Б. Минин, канд. сельхоз. наук, ст. научный сотрудник

Контактная информация (тел.; e-mail): 8-9218728003; minin.iamfe@mail.ru

Д.А. Максимов, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник

Контактная информация (тел.; e-mail): 88124668383; maximov@sznii.ru

ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (г. СПб, РФ)

ВВЕДЕНИЕ. Стратегией научно-технологического развития Российской Федерации на ближайшие десятилетия, в качестве приоритетных, обозначены направления, которые позволят получить научные и научно-технические результаты, создать технологии, являющиеся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения России на внешнем рынке. Стоит задача обеспечить переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, к высокопродуктивному и экологически чистому агропроизводству, разработке и внедрению систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, созданию безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания.

Решение данной задачи требует эффективного управления технологическими процессами. Основной проблемой организации эффективного производства становится обеспечение высокой производительности в оптимальные агротехнические сроки с высокой точностью и минимальными затратами материально-технических и энергетических ресурсов. Для чего необходима разработка соответствующих моделей технологических процессов, методов и способов их управлением, в том числе на основе самонастраивающихся технических систем, исполняющих часть интеллектуальных функций человека.

Реализация данного подхода позволит перейти сельскохозяйственному производству на новый технологический уклад, реализующий принципы «Smart Farming» – «Разумное сельское хозяйство».

Очевидно, что для достижения поставленной цели необходимо проведение соответствующих исследований, часть из которых должна осуществляться в полевых условиях. Для этого используются полевые эксперименты, которые незаменимы для оценки эффективности и экологических последствий применения средств защиты растений и новых видов удобрений, изучения операций по обработке почвы, оценке новых сортообразцов, проведения агроэкологических исследований и многого другого. Именно на основе результатов, полученных в полевых опытах, могут быть разработаны новые агротехнологии, эффективность которых, в свою очередь, также должна быть отслежена в контролируемых условиях.

Следует отметить, что идея «умного» сельскохозяйственного предприятия уже несколько лет активно развивается в Мире. В настоящее время ЕС поддерживает внедрение и развитие Smart Farming с помощью самых разных политик, таких как: Общая сельскохозяйственная политика (САР); региональная политика; Экологическая политика; политика безопасности пищевых продуктов; политики в области конкуренции и инновационной политики ЕС [1]. Нынешнее развитие технологий Smart Farming главным образом финансируется за счет исследовательской политики Horizon 2020 и политики развития сельских районов САР [2]. Например, разработана и предложена информационная платформа SmartFarmNet [3], которая может автоматизировать сбор данных об окружающей среде, почве, удобрениях и орошениях; автоматически сопоставлять такие данные и выдавать неверные данные, с точки зрения оценки производительности сельскохозяйственных культур; вычислять прогнозы урожая и предоставлять персонализированные рекомендации по выращиванию сельскохозяйственных культур для каждой конкретной фермы. SmartFarmNet может интегрировать прак-

тически любое устройство, в том числе коммерчески доступные датчики, камеры, метеостанции и т.п. и хранить собранную информацию в облаке для последующего анализа производительности и рекомендаций. Аналогичный подход разрабатывается и в России. В частности, работы ведутся по дистанционной оценке почвенного плодородия и использованию, на этой основе, роботизированных агрегатов, включающих трактор и разбрасыватель удобрений, для внесения питательных веществ в почву согласно карте-заданию и электронной карте территории [4]. С этой целью разрабатываются роботизированные технические средства и программное обеспечение [5]. На рынке представлен большой диапазон датчиков для измерения различных характеристик почвы и растений.

Вместе с тем, в сельскохозяйственном опытном деле «умных» опытных полей пока нет, хотя часто используются весьма интеллектуальные приборы и механизмы. В свою очередь, именно для организации научных сельскохозяйственных исследований следует разрабатывать и использовать действительно интеллектуальные опытные поля. Проведение полевого эксперимента является обязательным этапом исследований для целого ряда сельскохозяйственных и биологических наук. В рамках полевых экспериментов создаются и тестируются новые сорта полевых культур, оцениваются новые виды агрохимикатов, разрабатываются отдельные агротехнологические операции и целые технологии, ведутся многолетние мониторинговые исследования.

При этом можно сказать, что цель любого полевого эксперимента состоит в получении информации об отклике предмета исследования на действие регулируемого фактора. Однако, растения в таких экспериментах существуют в составе агроэкосистемы, в которой на них воздействует целый ряд неконтролируемых факторов, включая изменяющиеся погодные и почвенные условия, активность других биологических объектов. При работе технических средств, направленных на обеспечение наиболее благоприятных условий произрастания сельскохозяйственных культур, они также оказывают на растения ряд трудно учитываемых воздействий.

Прогресс в развитии информационных технологий и приборной базы привёл к тому, что в современных полевых исследованиях возможно осуществить фиксацию и сохранение большого количества данных, их сопоставление и обработку. Это создает совершенно новые условия, когда для исследователя появляется возможность количественного учета показателей, характеризующих все основные факторы, воздействующие на растение, или другой объект в опыте. При этом формируется большой массив информации, который требует организации хранения, обработки и анализа. Он, в свою очередь, создает информационную базу для дальнейшего использования, как для оптимизации работ в опытах на опытном поле, так и для лучшего понимания процессов осуществляемых в системе почва – растения – атмосфера – техническое средство, с дальнейшей целью их прогнозирования и управления. Эта идея формулируется авторами как концепция интеллектуального опытного поля [6]. Данная концепция предполагает создание единого информационного пространства, реализуемого в виде информационной системы: совокупности датчиков, коммуникационного оборудования и компьютерной программы с базой данных, в которой накапливается информация, отражающая процессы, идущие в окружающей среде и экспериментальных площадях.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДОЛОГИЯ. В едином информационном пространстве принята структура данных в виде объектов, обладающих атрибутами (свойствами), значения которых меняются со временем. Объектами являются технические средства, отдельные элементы агроландшафта, в качестве которых можно рассматривать и отдельные делянки опыта, общие характеристики окружающей среды, например, метеоданные. При этом, важным является фиксация геоданных объектов: все мобильные объекты оснащены устройствами ГЛОНАС (GPS) и это позволяет использовать и развивать подходы точного земледелия.

ОБСУЖДЕНИЕ. Первоочередной задачей развития концепции интеллектуального опытного поля является разработка общей методологии работы с опытными посевами. Необходимо более полный сбор данных о состоянии опытных посевов, учитывающий особенно-

сти развития растений на всём жизненном цикле развития от посадки (посева) до сбора урожая. Для учёта и контроля развития растений необходим выбор значимых параметров, характеризующих уровень “благополучия” растений, которые можно инструментально измерить, а также отражающих значения влияющих факторов (как технических, так и природно-климатических). В табл. 1 приведены основные методы для оценки параметров растительного покрова и окружающей среды.

Таблица 1. Основные параметры состояния среды и растений и методы их оценки

Сфера	Показатели	Методы
Почва	Температура	Физический
	Влажность	Физический, электрохимический
	Плотность	Физический
	Содержание питательных веществ	Ионометрия, электрохимический
	Микробиологическая активность	Оптический
Атмосфера	Комплекс показателей	Комплексные метеостанции
Растительный покров, включая заболеваемость, наличие вредителей	Растительная поверхность	Оптический
	Видовой состав	Оптический и ИТ (анализ образов)
	Содержание питательных веществ	Оптический (анализ спектрального состава)

Использование современных информационных технологий делает возможным сбор, накопление и обработку данных в автоматическом режиме (рис. 1). Это меняет устоявшиеся принципы организации полевых экспериментов – если традиционный подход предполагает последовательное выполнение стадий планирования и реализации эксперимента (планирование, проведение эксперимента, обработка полученных данных), то при эксплуатации интеллектуального опытного поля автоматические приём и анализ данных позволяют, уже на ранних этапах, прогнозировать конечный результат до окончания эксперимента. Дополнительные возможности появляются благодаря накоплению больших объёмов данных в формате, пригодном для автоматической машинной обработки. Применение методов интеллектуального анализа данных (Data mining) делает возможным выявление новых зависимостей объектов исследования от факторов воздействия.

Рис. 1. Поток информации, поступающий с технического средства и датчиков, установленных на опытном поле

Элементы умного Опытного поля включают:

- Электронную карту территории Опытного поля;
- Систему датчиков для учета показателей почвенного и растительного покрова с техническим устройством для регулярной отправки информации в Базу данных;
- Технические средства, оборудованные навигационными терминалами и модулями связи с Базой данных. Они будут регулярно пересылать информацию о своем положении и ряде характеристик в Базу данных;
- Автоматическую метеостанцию, связанную с Базой данных;

- Видео-систему для сканирования территории Опытного поля при различных длинах волн с последующей расшифровкой состояния растительного покрова по отдельным делянкам, связанная с Базой данных;
- Управляющую информационную систему с Базой данных, собирающую информацию со всех передатчиков Опытного поля.

База данных экспериментальной информации – комплексное решение, обеспечивающее автоматизацию процесса документооборота в ходе управления деятельностью Опытного поля и выполнения полевых экспериментов и исследований. База данных содержит и обновляет массивы данных с нормативной документацией, информацией о технологиях производства растениеводческой продукции и методах аналитических исследований, рабочими программами и методиками проведения полевых экспериментов, накапливает и обрабатывает первичные данные, получаемые в ходе выполнения полевых экспериментов и проведения анализов почвенных и растительных образцов, по заданию пользователей проводит статистическую обработку полученных данных, осуществляет выборку данных и их распечатку. В Базе данных будут использоваться отдельные банки данных:

1. Нормативная информация по вопросам, актуальным для проводимых исследований (регулярно актуализируемая оператором);
2. Объекты Опытного поля, входящие в него участки, сооружения и технические средства.
3. Регламенты технологий производства растениеводческой продукции, реализуемые на Опытном поле, методики аналитических исследований, рабочие программы и методики проведения полевых экспериментов.
4. Первичная экспериментальная информация, получаемая от исполнителей полевых экспериментов и от датчиков измерения состояния окружающей среды.
5. Первичная информация, принимаемая от терминалов транспортных средств.

Использование Автоматизированной системы управления – проведения научных исследований на Опытном поле позволит оперативно собирать и сохранять всю экспериментальную информацию, а также оптимизировать управленческие процессы работы техники на полях. Данная идеология была представлена на 18 Мировом Конгрессе CIGR и получила одобрение. В ряде университетов действуют отдельные информационные системы для полевых опытов, включающие хранение и использование экспериментальных данных.

Реализация этой концепции начала осуществляться на Опытном поле института для сбора информации в органическом экспериментальном севообороте. Создана и начала заполняться база данных, технические средства оборудуются системами навигации и передачи информации, развернута автоматизированная метеостанция, устанавливаются датчики для фиксации отдельных параметров почвы.

ВЫВОДЫ:

1. В настоящее время необходимо проведение специальных исследований по мониторингу физиологической реакции растений на различные воздействия и их влиянию на продуктивность.
2. Интеллектуальные опытные поля являются необходимой инфраструктурой современных исследований и требуются для получения комплексных научных результатов, значимых на мировом уровне.
3. При реализации интеллектуальных опытных полей важную роль играют информационные технологии, для интеграции датчиков, коммуникационных средств и данных, вводимых вручную в единое информационное пространство, а также для реализации процедур обработки полученной информации и получения из нее новых знаний.

Литература

1. **Precision agriculture and the future of farming in Europe Scientific Foresight Study** IP/G/STOA/FWC/2013-1/Lot 7/SC5 December 2016.
2. **European Commission**, 'The European Innovation Partnership "Agricultural Productivity and Sustainability"', http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-12-147_en.htm?locale=en, retrieved on 27 March 2017.
3. **Prem Prakash Jayaraman**, Ali Yavari, Dimitrios Georgakopoulos, Ahsan Morshed and Arkady Zaslavsky. Internet of Things Platform for Smart Farming: Experiences and Lessons Learnt. Academic Editor: Simon X. Yang, Published: 9 November 2016.

[file:///C:/Users/User/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/sensors-16-01884-v2%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/AppData/Local/Packages/Microsoft.MicrosoftEdge_8wekyb3d8bbwe/TempState/Downloads/sensors-16-01884-v2%20(1).pdf)

4. **Ф.Л. Черноусько, И.Л. Ермолов, Р.А. Афанасьев.** Основные направления роботизации земледелия. Плодородие, № 1 (100), 2018. – С. 48–52.
5. **А.Ю. Измайлов, З.А. Годжаев, В.Г. Сычев, Р.А. Афанасьев.** Робототехника в агрохимии точного земледелия. Плодородие, №1 (100), 2018. – С. 53–57.
6. **V. Minin, T. Leuchovius, V. Belyakov.** International Scientific Community Role in Development of Field Experiment' Mechanization. Environmentally Friendly Agriculture and Forestry for Future Generations: Proceedings of International Scientific XXXVI CIOSTA & CIGR SECTION V Conference, 26-28 May, 2015, Saint Petersburg, Russia: SPbSAU. – p. 408-411.

УДК 631.171: 004

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И РОБОТИЗАЦИИ РАБОТ В ПОЛЕВЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАХ

И.Г. Смирнов, канд. с-х. наук

Контактная информация (тел., e-mail): 8(499)171-43-49; rashn-smirnov@yandex.ru

Д.О. Хорт, канд. с-х. наук

(Контактная информация (тел., e-mail): 8(499)174-88-01; dmitriyhort@mail.ru)

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ (Москва, РФ)

ВВЕДЕНИЕ. По мере развития электроники, робототехники и информационных технологий активно разрабатываются и внедряются различные сенсорные системы, которые широко используются в полевых экспериментах в качестве основного инструмента для обеспечения точности и достоверности полевых данных. Применение современных средств автоматизации и роботизации обеспечивает реализацию способов дистанционного зондирования агроценозов и управление продукционным процессом сельскохозяйственных культур, позволяет контролировать выполнение технологических операций, в on-line режиме анализировать развитие болезней и вредителей на растениях, проводить мониторинг урожайности сельскохозяйственных культур [1–3].

К основным этапам области применения средств автоматизации и роботизации в полевых экспериментах относятся:

- Планирование полевого эксперимента;
- Проведение эксперимента;
- Обработка экспериментальных данных.

ОБЪЕКТ И МЕТОДИКА. В исследовании использован анализ технико-эксплуатационных параметров современных отечественных и зарубежных автоматизированных и роботизированных средств для сельского хозяйства [4–6].

Планирование полевых экспериментов начинается с мониторинга опытных участков, при этом применяются следующие методы сбора исходных данных:

- мониторинг полей с помощью высокоточных приёмников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в полевых условиях;
- анализ космических изображений высокого разрешения;
- комбинированный метод (электронная карта + высокоточные средства позиционирования).

При проведении полевых экспериментов наиболее эффективным является применение комбинированного метода, который позволяет:

- создавать высокоточные карты: почвенного плодородия опытных делянок;
- осуществлять точную разбивку границ опытных делянок;
- создавать банк картографической информации: структура почвенного покрова, залегание грунтовых вод, содержание макро- и микроэлементов, агрохимические показатели, распределение урожайности сельскохозяйственных культур.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В настоящее время данные дистанционного