

## СЕКЦИЯ 4

# АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АПК

**УДК 631.171:004.738.5**

Ковалев В.А., к.т.н., доцент, Крутов А.В., к.т.н., доцент,  
Поддубский А.В., студент

*Белорусский государственный аграрный технический университет,  
г. Минск*

### ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ В ТЕПЛИЧНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Сельскохозяйственное производство можно отнести к перспективной области для внедрения технологии Интернета Вещей (IoT), хотя далеко не везде можно ожидать его быстрое применение [1].

В качестве перспективного сегмента для применения IoT можно выделить «точное земледелие» [2, 3].

Наиболее подготовленным сектором «точного земледелия» для применения IoT, на наш взгляд, является выращивание овощей в защищенном грунте, т.е. тепличное хозяйство. Теплицы имеют ограниченную площадь, выращивание растений в большинстве своем производится по гидропонной технологии, что облегчает реализацию приложений IoT.

«Умную теплицу» можно представить как киберфизическую систему, архитектура которой может быть представлена в виде следующих уровней:

1) Периферийный уровень (уровень датчиков), включающий распределенную сеть сенсоров для мониторинга таких параметров как температура и влажность воздуха, интенсивность фотосинтетически активной радиации, концентрация CO<sub>2</sub>; гидропонных параметров – pH, электропроводность питательного раствора, уровень растворенного кислорода; биологических показателей – диаметр стебля, тургор листа (с использованием дендрометров и др. методов).

2) Сетевой уровень (уровень передачи данных): обеспечивает коммуникацию между устройствами. Для условий теплиц с высо-

ким уровнем влажности и металлоконструкций наиболее эффективны технологии с низким энергопотреблением и большой дальностью действия, такие как LoRaWAN и NB-IoT.

3) Уровень платформы и аналитики (облачный уровень): данные агрегируются на IoT-платформах. На этом уровне применяются алгоритмы машинного обучения для выявления аномалий, прогнозирования развития заболеваний и построения предиктивных моделей роста культуры.

4) Уровень исполнительных механизмов: на основе аналитических решений формируются управляющие сигналы для исполнительных устройств – систем капельного полива и фертигации, электроприводов открывания фрамуг, систем отопления, досвечивания и туманообразования.

Внедрение IoT-решений позволяет оптимизировать ключевые производственные процессы:

1) Управление микроклиматом. Традиционное регулирование основано на поддержании заданных пороговых значений. IoT-система реализует динамическое управление, например алгоритм может временно повысить допустимый порог температуры при низкой влажности воздуха для активации работы систем туманообразования, что предотвращает тепловой стресс и оптимизирует влажность. Исследования показывают, что такой подход позволяет повысить эффективность фотосинтеза на 15-25% [4].

2) Система прецизионной фертигации. Использование сенсоров влажности субстрата и электропроводности питательного раствора позволяет реализовать стратегию полива по потреблению культуры. Это исключает дренаж и вымывание питательных элементов в грунтовые воды. По данным полевых испытаний, экономия воды и минеральных удобрений достигает 30-50% и 25-40% соответственно, при одновременном снижении риска развития корневых гнилей [5].

3) Фитосанитарный мониторинг. IoT-системы интегрируют данные с феромонных ловушко-камер и гиперспектральных сенсоров для ранней диагностики фитопатогенов и вредителей. Анализ изображений с помощью компьютерного зрения позволяет идентифицировать очаги поражения на доклинической стадии, что является основой для интегрированной системы защиты растений и точечного применения средств защиты.

Проведенный анализ показывает, что технология Интернета Вещей является ключевым драйвером цифровизации тепличного растениеводства. Она позволяет трансформировать его из ресурсоемкой отрасли в высокотехнологичную индустрию.

Перспективные направления дальнейших исследований и разработок, по нашему мнению, включают: интеграцию с искусственным интеллектом для создания полностью автономных систем управления, способных к самообучению и адаптации; разработку цифровых двойников тепличных комплексов для моделирования сценариев и оптимизации процессов в виртуальной среде; использование робототехники для автоматизации таких операций, как обрезка и сбор урожая.

Таким образом, внедрение IoT-решений в тепличных хозяйствах представляет собой стратегически важное направление, определяющее конкурентоспособность и устойчивое развитие агропромышленного комплекса в долгосрочной перспективе.

#### **Список использованных источников**

1. «Индустрія 4.0» в АПК: Основные тенденции применения технологий Интернета Вещей в сельском хозяйстве – URL: <https://industriya-4-0-v-apk-osnovnye-tendentsii-primeneniya-tehnologiy-interneta-veschey-v-selskom-hozyaystve.pdf> (дата обращения: 22.04.2025).
2. 30 примеров применения технологий Интернета вещей (IoT) – URL: <https://sofiot.io/blog/poleznye-materialy-iot/30-primerov-primeneniya-tehnologiy-interneta-veshchey-iot/> (дата обращения: 11.06.2025).
3. Интернет вещей в сельском хозяйстве (IoTAg) – URL: <https://www.tadviser.ru/index.php/> (дата обращения: 02.09.2025).
4. IoT в сельском хозяйстве: точное земледелие, умные теплицы и другие инновационные решения – URL: <https://www.euromobile.ru/m2m-resheniya/iot-v-selskom-khozyaystve-tochnoe-zemledelie-umnye-teplitsy-i-drugie-innovatsionnye-resheniya/> (дата обращения: 12.05.2025).
5. 9 революционных решений IoT в сельском хозяйстве, которые должен знать каждый умный фермер – URL: <https://fnb.tech/ru/iot-in-agriculture/> (дата обращения: 11.04.2025).