



Региональные агросистемы: экономика и социология. 2025. № 2. С. 67-72.
Regional agrosystems: economics and sociology. 2025;(2): 67-72.

Научная статья
УДК 631.4

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ: ПРИМЕНЕНИЕ ТЕЛЕМЕТРИИ И АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ФЕРТИГАЦИОННОГО ПОЛИВА В ОВОЩЕВОДСТВЕ

Антон Павлович Акпасов¹, Ренат Бариевич Туктаров²,
¹⁻² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Волжский научно-исследовательский институт гидротехники
и мелиорации», г. Энгельс, Россия,
¹1a9@mail.ru, ²tuktarov.rb@gmail.com.

Аннотация. В условиях растущей нагрузки на агроэкосистемы применение инновационных технологий в сельском хозяйстве приобретает особую значимость. В статье исследуются перспективные методы точного земледелия, включая телеметрические системы и автоматизацию для оптимизации полива и химической защиты овощных культур. Представлен анализ современных технологий, которые позволяют точно дозировать удобрения и пестициды с учетом фитосанитарного состояния посевов и почвенно-климатических условий. Особое внимание уделено адаптации этих решений для семи групп овощных культур, что обеспечивает персонализированный подход к их выращиванию. Исследование показывает ключевую роль цифровизации в формировании устойчивых агросистем, как фактора обеспечения продовольственной безопасности.

Ключевые слова: сельское хозяйство, фертигация, телеметрические системы, автоматизация, орошение, химизация, овощные культуры.

Для цитирования: Акпасов А.П., Туктаров Р.Б. Развитие методов точного земледелия: применение телеметрии и автоматизированного фертигационного полива в овощеводстве // Региональные агросистемы: экономика и социология. 2025. N 2. С. 67-72.

Original article

DEVELOPMENT OF PRECISION AGRICULTURE METHODS: APPLICATION OF TELEMETRY AND AUTOMATED FERTIGATION IN VEGETABLE PRODUCTION

Anton P. Akpasov¹, Renat B. Tuktarov²
¹⁻² Federal State Budgetary Scientific Institution
Volzhsky Research Institute of Hydraulic Engineering
and Land Reclamation", Engels, Russia,
¹1a9@mail.ru, ²tuktarov.rb@gmail.com

Abstract. Under increasing pressure on agroecosystems, the implementation of innovative agricultural technologies becomes particularly crucial. This article explores advanced precision farming methods, including telemetric systems and automation for optimizing irrigation and chemical protection of vegetable crops. The study analyzes modern technologies that enable precise dosing of fertilizers and pesticides based on phytosanitary conditions of crops and soil-climatic factors. Special attention is given to adapting these solutions for seven groups of vegetable crops,



ensuring a personalized cultivation approach. The research highlights the key role of digitalization in developing sustainable agricultural systems as a factor of food security.

Keywords: *agriculture, fertigation, telemetry systems, automation, irrigation, chemicalization, vegetable crops.*

For citation: *Akpasov A.P., Tuktarov R.B. Development of precision agriculture methods: application of telemetry and automated fertigation in vegetable production. Regional agrosystems: Economics and Sociology. 2025:(2); 67-72. (In Russ)*

Введение.

Растущий спрос на продовольствие при одновременном сокращении площади земель сельскохозяйственного назначения и ограниченности водных ресурсов обуславливают необходимость повышения продуктивности агроэкосистем [1]. Увеличению урожайности, производительности труда и рентабельности аграрного сектора при заданных ресурсных ограничениях способствует внедрение современных технологий.

Один из наиболее доступных путей повышения урожайности – снижение потерь, возникающих в результате поражения растений вредителями и болезнями и засоренности посевов, за счет применения химических средств защиты сельскохозяйственных растений. Однако химизация производства сопряжена с негативными последствиями. Среди которых можно отметить: развитие резистентности у вредителей, вымывание химикатов и их сток в водоемы, деградация почв. Таким образом, важнейшей задачей современного сельского хозяйства становится оптимизация защиты растений при одновременном снижении экологической нагрузки [2,3].

Технологии точного земледелия позволяют оптимизировать процесс внесения средств химической защиты растений [4]. Важнейшим решением в данном направлении является интеграция в аграрное производство систем телеметрии и автоматизированного фертигационного полива для обеспечения прецизионного дозирования и распределения пестицидов вместе с поливной водой. Современные телеметрические системы позволяют не только автоматизировать процесс полива, но и точно регулировать подачу химических средств защиты, учитывая фитосанитарное состояние посевов, почвенно-климатические условия и метеопараметры в режиме реального времени.

Фертигация традиционно применяется для совмещенного внесения питательных и защитных химических средств с орошением [5], однако, ее потенциал в области защиты растений остается недооцененным. Патентный обзор с использованием Международной базы данных патентных изобретений показал, что внимание процессам химизации с использованием средств фертигации уделяется существенно меньше, чем процессам внесения удобрений [6]. Вместе с тем данное технологическое решение имеет огромный потенциал в климатически оптимизированном сельском хозяйстве.

Цель исследования - разработка научно обоснованной классификации телеметрических систем фертигационного оборудования для автоматизированного полива и внесения химических средств защиты овощных культур на основе систематизации существующих практик.

Методика исследования.

Теоретические и практические аспекты использования телеметрических систем в фертигационном оборудовании для автоматизированного полива при комбинированном орошении изучались на базе ФГБНУ «Волжский НИИ гидротехники и мелиорации» (г. Энгельс, Саратовской области). В основу методологии исследования легли работы отечественных и зарубежных ученых, посвященные проблемам аридизации климата, климатически оптимизированного земледелия, химизации в растениеводстве и цифровизации в сельском хозяйстве. Методом контент-анализа научных публикаций и систематизации данных были обобщены мировые практики применения фертигационных технологий для внесения химических средств защиты при выращивании овощных культур.



Результаты исследования.

Телеметрические и автоматизированные системы фертигации применяются для внесения не только удобрений, но и химикатов [7]. Практика внесения удобрений направлена на оптимизацию питания растений – регулирование дозировки макро- и микроэлементов (N, P, K, Mg, Ca) в зависимости от фазы роста, типа культуры и состояния почвы. Внесение с помощью фертигационных систем химикатов направлено на борьбу с вредителями, болезнями и сорняками. Реализация фертигационного метода в современном сельском хозяйстве осуществляется с использованием телеметрии и автоматизации. В таблице 1 приведено сравнение основных видов оборудования и технологий телеметрии и автоматизации для двух ключевых направлений: удобрения и химикаты.

Таблица 1 – Оборудование и технологии телеметрии и автоматизации фертигации овощных культур: удобрения и химикаты

	Удобрения	Химикаты
Основные устройства	Инжекторы, многоканальные дозаторы, датчики ЕС/рН	Распылители, форсунки, фильтры, дроны для опрыскивания
Ключевые датчики	Датчики влажности почвы, NPK-сенсоры, рН-метры	Датчики наличия вредителей, мультиспектральные камеры
Способ внесения	Капельное/подпочвенное орошение, медленное высвобождение	Широкозахватное опрыскивание, точечная обработка

В числе основных устройств для автоматического добавления жидких удобрений в поливную воду используются инжекторы. Для смешивания нескольких видов удобрений используются многоканальные дозаторы. Контроль электропроводности (концентрации солей) и кислотности раствора осуществляют датчики ЕС/рН.

Внесение химикатов путем фертигации с использованием средств телеметрии и автоматизации осуществляется с использованием следующих устройств: распылители и форсунки (создают мелкодисперсный туман для равномерного покрытия листьев); фильтры (предотвращают засорение системы частицами нерастворимых химикатов), дроны для опрыскивания (обеспечивают обработку труднодоступных участков с высокой точностью).

Достижение необходимого эффекта требует комплексного подхода. Мероприятия по внесению химикатов должны сопровождаться мониторингом с использованием информации с датчиков наличия вредителей (ИК-камеры или акустические сенсоры для обнаружения насекомых), мультиспектральных камер (выявление очагов болезней или стресс растений по изменению отражающей способности листьев). Для работы с большим объемом информации требуются алгоритмы машинного обучения, ориентированные на решение конкретных задач. Это может быть подборка оптимальных доз внесения химикатов при обнаружении грибковых спор или насекомых. Беспилотные летательные аппараты с камерами могут идентифицировать очаги заражения и точно вносить фунгициды.

Таблица 2 демонстрирует полный цикл smart-фертигации (от выбора химикатов до автоуправления системами) в разрезе семи основных групп овощей. Smart-фертигация обеспечивает персонализированное питание и защиту для каждой группы овощей. Так, например, листовые овощи обрабатываются инсектицидами (имidakлоприд, спиносад) и фунгицидами (манкоцеб, хлорталонил) с использованием спринклерных систем. В процессе используются, преимущественно, smart-датчики рН/ЕС с Wi-Fi контроллерами и автоматические клапаны. Это позволяет осуществлять автоматическую корректировку рН и равномерное распыление для покрытия листовой поверхности растения. Автоматизированная обработка листовых овощей обеспечивает точное дозирование химикатов и равномерное покрытие листьев растений, снижая потери урожая от болезней и вредителей в среднем на 20–30%. Реализация подобных мероприятий имеет значительный экономический эффект. Снижение расхода препаратов на 15–20% и трудозатрат на 40–50% за счет автоуправления увеличивают рентабельность производства при сохранении качества продукции.



Таблица 2 - Системы фертигации овощных культур: химические средства защиты овощных культур

Категория культуры	Средства	Тип орошения	Тип оборудования	Функции оборудования
Листовые овощи	Инсектициды (имдаклоприд, спиносад), фунгициды (манкоцеб, хлорталонил)	Спринклерные системы	Смарт-датчики рН/ЕС + Wi-Fi контроллеры, автоматические клапаны.	Автоматические форсунки с регулировкой давления. Система корректировки рН в режиме реального времени и равномерное распыление для покрытия листовой поверхности.
Плодовые овощи	Инсектициды (абамектин, тиаметоксам), фунгициды (фосэтил-алюминий, азоксистробин)	Капельное орошение	Многоканальные дозаторы с IoT-управлением. сенсоры ЕС. Погодные станции для адаптивного полива.	Баланс NPK и защита плодов от химикатов. Точечная подача к корням, минимизация контакта с плодами.
Корнеплоды	Гербициды (метрибузин), нематоциды (оксамил), фунгициды (флудиоксонил).	Подповерхностная фертигация	Датчики влажности почвы, GPS-модули. Автоматические инжекторы с регулировкой глубины внесения.	Глубокий полив и защита от засоления. Подача растворов ниже слоя почвы, защита от испарения в засушливых регионах.
Луковичные культуры	Бактерициды (стрептомицин), инсектициды (диазинон).	Капельное орошение + инжекторы	Датчики засоленности почвы + системы обратного осмоса для очистки воды. Автоматические рН-корректоры с дозированием.	Риск переувлажнения. Точечная доставка к корням, минимизация контакта с луковицами.
Бобовые культуры	Инсектициды (пиретроиды), микоризные препараты (фосфатмобилизующие бактерии).	Автоматизированные дозаторы	Сенсоры азота/калия + роботизированные дозаторы. Система промывки с контроллером ЕС.	Минимизация азота и контроль засоленности. Точное дозирование через IoT-платформы с датчиками влажности и рН.
Тепличные культуры	Инсектициды (авермектины, пирипроксифен. Фунгициды (триазолы, стробилурины).	Капельное орошение, климат-контроль (датчики температуры, влажности), инжекторы	Климат-контроль (Датчики CO ₂ , освещенности+управление вентиляцией). Адаптивные инжекторы с IT-алгоритмами для микродоз.	Интеграция полива с микроклиматом. Алгоритмы для управления климатом и дозированием
Овощи открытого грунта	Гербициды (глифосат, метрибузин), Инсектициды (неоникотиноиды, фосфорорганические соединения. Фунгициды (медьсодержащие препараты и карбаматы для профилактики и лечения грибковых заболеваний).	Широкозахватные опрыскиватели, дождевальные установки, GPS-навигация для точного внесения	GPS-навигация для точного внесения + дроны анализаторы состояния посевов. Автоматические клапаны перепадов давления.	Обработка больших площадей и перепады давления.

Для защиты плодовых овощей применяются химикаты не только для борьбы с болезнями растений, но и насекомыми-вредителями [8]. Овощи открытого грунта обрабатываются гербицидами (глифосат, метрибузин), инсектицидами (неоникотиноиды, фосфорорганические соединения) и фунгицидами (медьсодержащие препараты, карбаматы). Для этого используются широкозахватные опрыскиватели, дождевальные установки и GPS-навигация для точного внесения, что позволяет эффективно обрабатывать большие площади. Актуальными ме-



тодами внесения также являются капельное орошение с многоканальными дозаторами, управляемыми через IoT, и сенсорами ЕС. Функции оборудования направлены на баланс NPK, защиту плодов от химикатов и точечную подачу к корням.

Корнеплоды обрабатываются гербицидами (метрибузин), нематоцидами (оксамил) и фунгицидами (флудиоксонил). В приоритете использование подповерхностной фертигации с датчиками влажности почвы и GPS-модулями. Оборудование обеспечивает глубокий полив, защиту от засоления и подачу растворов ниже слоя почвы. Луковые культуры, как правило, защищаются бактерицидами (стрептомицин) и инсектицидами (диазинон) с применением капельного орошения и инжекторов. Датчики засоленности почвы и системы обратного осмоса обеспечивают точечную доставку к корням и минимизацию контакта с луковицами.

Обработка бобовых культур основана на применении инсектицидов (пиретроиды) и микоризных препаратов. Для внесения химикатов используются автоматизированные дозаторы с сенсорами азота/калия и системой промывки, что позволяет минимизировать засоленность и точно дозировать растворы через IoT-платформы.

Особого внимания при выращивании требуют тепличные культуры. Их защита включает применение инсектицидов (авермектины, пирипроксифен) и фунгицидов (триазолы, стробилурины). Оборудование включает климат-контроль с датчиками CO₂, освещенности и адаптивными инжекторами, что обеспечивает интеграцию полива с микроклиматом.

Заключение.

Применение инновационных технологий точного земледелия (телеметрия, автоматизированная фертигация и тд.), становится важным инструментом для ведения климатически адаптированного сельскохозяйственного производства. Современные системы позволяют не только оптимизировать использование водных и химических ресурсов, но и минимизировать экологические риски, связанные с деградацией почв, засолением и загрязнением водоемов. Внедрение smart-фертигации, основанной на данных датчиков, алгоритмах машинного обучения и автономных дронах, обеспечивает точное дозирование удобрений и пестицидов, что особенно актуально в условиях участвующих засух, неравномерных осадков и роста резистентности вредителей. Дальнейшая цифровизация агросектора, включая интеграцию IoT и AI, может стать ключевым фактором устойчивого развития сельского хозяйства. Реализация таких решений требует междисциплинарного подхода, объединяющего агрономию, инженерию и экологию, а также поддержки со стороны государства и научного сообщества.

Список источников

1. Устойчивое развитие агропродовольственного комплекса России: проблемы и перспективы / А. А. Анфиногентова, С. А. Андрющенко, П. П. Великий [и др.]. – Саратов: Саратовский источник, 2024. 384 с.
2. Кадомцева М.Е., Седова О.В. Влияние сельскохозяйственного производства на экологию водоемов Саратовской области // Закономерности развития региональных агропродовольственных систем. 2017. № 1. С. 87-92.
3. Седова О.В., Кадомцева М.Е. Современное состояние проблемы экологизации аграрного производства // Региональные агросистемы: экономика и социология. 2017. № 3. С. 9.
4. Актуальные направления научно-технологического развития агропромышленного комплекса России / А. В. Богданов, М. А. Брызгалина, Т. В. Брызгалин [и др.]. – Саратов: Издательство "Саратовский источник", 2023. 210 с.
5. Акпасов А.П., Туктаров Р.Б., Морозов М.И., Акпасов П.П. Применение цифровых технологий для автоматизации ирригационного оборудования при выращивании сельскохозяйственных культур // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. 2024. № 3. С. 3-11.
6. World Intellectual Property Organization (WIPO). URL: <https://www.wipo.int/portal/ru/>
7. Голубев И. Г., Мишуров Н. П., Гольдяпин В. Я., Апатенко А. С., Севрюгина Н. С. Системы телеметрии и мониторинга сельскохозяйственной техники: аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 76 с.



8. Денискина Н.Ф., Гаспарян Ш.В., Дыйканова М.Е., Левшин А.Г., Гаспарян И.Н. 3 402 Защита сельскохозяйственных культур от вредных организмов в периоды ухода и хранения: учебное пособие / Н.Ф. Денискина [и др.]. – М.: МЭСХ, 2021. 108 с.

References

1. Anfinogentova, A.A., Andryushchenko, S.A., Velikiy, P.P. et al. (2024) Sustainable development of Russia's agro-food complex: problems and prospects. Saratov: Saratovsky Istochnik. 384 p.
2. Kadomtseva, M.E. and Sedova, O.V. (2017) Impact of agricultural production on water ecology in Saratov region, *Patterns of Regional Agro-Food Systems Development*, (1), pp. 87-92.
3. Sedova, O.V. and Kadomtseva, M.E. (2017) Current state of agricultural production ecologization, *Regional Agrosystems: Economics and Sociology*, (3), p. 9.
4. Bogdanov, A.V., Bryzgalina, M.A., Bryzgalin, T.V. et al. (2023) Current directions of scientific and technological development of Russian agro-industrial complex. Saratov: Saratovsky Istochnik. 210 p.
5. Akpasov, A.P., Tuktarov, R.B., Morozov, M.I. and Akpasov, P.P. (2024) Application of digital technologies for irrigation equipment automation in crop cultivation, *International Journal of Applied Sciences and Technologies Integral*, (3), pp. 3-11.
6. World Intellectual Property Organization (WIPO). Official website. Available at: <https://www.wipo.int/portal/ru/>.
7. Golubev, I.G., Mishurov, N.P., Goltyapin, V.Ya. et al. (2020) Telemetry and monitoring systems for agricultural machinery: analytical review. Moscow: FGBNU "Rosinformagrotekh". 76 p.
8. Deniskina, N.F., Gasparyan, Sh.V., Dyikanova, M.E. et al. (2021) Protection of agricultural crops from pests during cultivation and storage: textbook. Moscow: MESKH. 108 p.

Информация об авторах:

А.П. Акпасов – кандидат технических наук, заведующий сектором оросительных систем и гидротехнических сооружений, Федеральное государственное научное учреждение «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации»;

Р.Б. Туктаров – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник Федерального государственного научного учреждения «Волжский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации», сектор оросительных систем и гидротехнических сооружений.

Information about the authors:

A.P. Akpasov - Candidate of Technical Sciences, Head of the Irrigation Systems and Hydraulic Structures Sector, Federal State Scientific Institution «Volzhsky Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation»;

R.B. Tuktarov – Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Federal State Scientific Institution «Volzhsky Scientific Research Institute of Hydrotechnics and Land Reclamation», Department of Irrigation Systems and Hydraulic Structures.

Статья поступила в редакцию 13.05.2025; одобрена после рецензирования 25.05.2025; принята к публикации 27.06.2025.

The article was submitted 13.05.2025; approved after reviewing 25.05.2025; accepted for publication 27.06.2025.