

X₄ – ГТК периода активной вегетации(апрель-август)

Представленная модель описывает положительный временной тренд т.е. урожайность растет со временем. Также наблюдается прямая зависимость от увеличения внесения минеральных удобрений (повышает урожай). Осенне-зимние фонды влаги критичны для производства зерна. Достаточная влага в почве к началу вегетации гарантирует дружные всходы и активный рост весной, а также успешную зимовку озимых, предотвращая засушливые явления. Этот параметр нашел отражение и в нашей модели. Нелинейная (квадратичная) зависимость от ГТК означает, что существует оптимальное значение ГТК, при котором урожай максимален, а слишком низкое или слишком высокое значение (засуха или переувлажнение) снижают его. Максимум урожайности достигается при значении ГТК 1.48.

Список использованной литературы

1. Карпенко Г.Г., Антонцев А.А Основные тенденции развития производства и рынка зерновых культур в России и мировом пространстве // Государственное управление. Электронный вестник. – Выпуск № 69. – Август 2018. – С. 56–79.
2. Агроинвестор. Россельхозбанк: за пять лет урожайность зерновых в России выросла на 23%. URL:<https://agrarian.expert/rosselhozbank-za-pyat-let-urozhajnost-zernovyh-v-rossii-vyroslo-na-23>. (дата обращения: 05.02.2023)
3. Горянин О.И. Влияние климата и погодных условий на урожайность зерновых культур в засушливых условиях Поволжья // Земледелие. – 2024. – № 4. – С. 19–24.
4. Акименко А.С., Свиридов В.И., Дудкина Т.А., Долгополова Н.В. Закономерности для цифровизации производства зерновых культур в севооборотах лесостепи Центрального Черноземья // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2023. – № 5. – С. 4–9.

УДК 631.674.5:634.1

Р.А. Филиппов, канд. с.-х. наук,

Д.А. Скобликов, магистрант

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва
E-mail: rostislav-filippov@yandex.ru*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ УДОБРЕНИЙ В САДОВОДСТВЕ

Ключевые слова: внутрипочвенное внесение, жидкие удобрения, интенсивное садоводство, инъекционные агрегаты, точное земледелие.

Key words: in soil application, liquid fertilizers, intensive horticulture, injection units, precision farming.

Аннотация: В статье рассмотрены перспективы применения внутривнепочвенного внесения жидких удобрений в садоводстве как перспективной технологии, обеспечивающей доставку питательных веществ непосредственно в корнеобитаемый слой 20–60 см. Показано, что инъекционный метод позволяет повысить коэффициент усвоения удобрений не менее чем в 2 раза, снизить экологические риски и минимизировать очаговое уплотнение почвы. Основные направления развития технологии включают роботизацию инъекционных агрегатов с лазерным позиционированием и искусственным интеллектом, внедрение беспроводных датчиков мониторинга почвы в реальном времени, а также адаптацию метода для подачи гидрогелей, водно-воздушных смесей и биопрепаратов. Дальнейшие исследования направлены на создание отечественных роботизированных инжекторных модулей с функциями адаптивного дозирования и интеграцией в цифровые экосистемы точного земледелия.

Summary: The article examines the prospects of using in-soil application of liquid fertilizers in horticulture as a promising technology that delivers nutrients directly to the root zone at a depth of 20–60 cm. It is shown that the injection method can increase the fertilizer utilization rate by at least 2 times, reduce environmental risks, and minimize localized soil compaction. The main directions of technology development include robotization of injection units with laser positioning and artificial intelligence, the introduction of wireless sensors for real-time soil monitoring, as well as adaptation of the method for supplying hydrogels, water-air mixtures, and biological products. Further research is aimed at creating domestic robotic injector modules with adaptive dosing functions and integration into digital ecosystems of precision agriculture.

Развитие средств внутривнепочвенной прикорневой подкормки садовых растений является актуальным направлением, поскольку позволяет перейти от экстенсивных методов к высокоточным технологиям, обеспечивающим максимальную реализацию генетического потенциала продуктивности садовых культур. Традиционные поверхностные способы внесения удобрений и орошения садов сопряжены с нерациональным расходом ресурсов и рядом экологических рисков, в связи с чем значительная часть питательных веществ не достигает корневой системы, оставаясь в верхних горизонтах почвы, что ведёт к их вымыванию и загрязнению грунтовых вод. Локализация удобрений в корнеобитаемом горизонте 20–60 см, где сосредоточена основная масса активных корней, увеличивает коэффициент использования питательных элементов [1]. По сравнению с поверхностным внесением инъекционный способ повышает эффективность удобрений не менее чем в 2 раза, а три формы азота в карбамидно-аммиачной смеси обеспечивают пролонгированное питание без резких концентрационных пиков. В свою очередь, внутривнепочвенный инъекционный метод гарантирует доставку жидких удобрений и влаги непосред-

ственно в зону активного питания корней на глубину до 0,6 м, что кардинально повышает коэффициент полезного действия удобрений [2].

Процесс внедрения рабочего органа в почвенный массив сопровождается локальным рыхлением без выноса грунта на поверхность [3]. Это способствует улучшению аэрации корнеобитаемого слоя при отсутствии травмирования скелетных и всасывающих корней. Одновременно минимизируется техногенное уплотнение почвы, неизбежное при многократных проходах агрегатов для поверхностного внесения удобрений и орошения, что положительно сказывается на сохранении естественной структуры почвы в междурядьях сада.

Традиционно внутривредные иньекторы работают с жидкими минеральными удобрениями, в первую очередь с различными составами карбамидно-аммиачной смеси с концентрацией азота 28–32 %, сочетающей аммонийную, нитратную и амидную формы. Данные растворы удобрений хорошо подходят для инъекций, но обладает повышенной коррозионной активностью, поэтому материалы шлангов, насосов и фитингов должны быть устойчивы к такой среде, а система – регулярно промываться после работы. Данные инженерно-технические решения, требуют детального инженерного обоснования, так как агрегаты испытывают значительные нагрузки, преодолевая связность и плотность садовых почв.

Таблица 1. Преимущества внутривредного внесения удобрений

Преимущество	Описание
Снижение вымывания	Исключается загрязнение грунтовых вод за счёт отсутствия поверхностного стока удобрений
Минимизация испарения	Потери азота не превышают 10% против 30–40% при поверхностном внесении
Экономия ресурсов	Снижение норм внесения на 30–50% без потери урожайности
Устойчивость к стрессам	Растения, получившие питание в корневую зону, лучше переносят засуху и экстремальные температуры

Главным элементом технологии является рабочий орган – иньектор с коническим наконечником, установленный на линейных направляющих и приводимый в действие электрическим цилиндром (актуатором). Конструкция предусматривает два резервуара (для рабочей жидкости и воды), насосное оборудование и систему подачи раствора через осевые каналы в корнеобитаемую зону плодовых растений. Одновременная подача воды при заглублении снижает прочностные характеристики грунта, уменьшает требуемое усилие внедрения и минимизирует риск повреждения корневой системы [4-6].

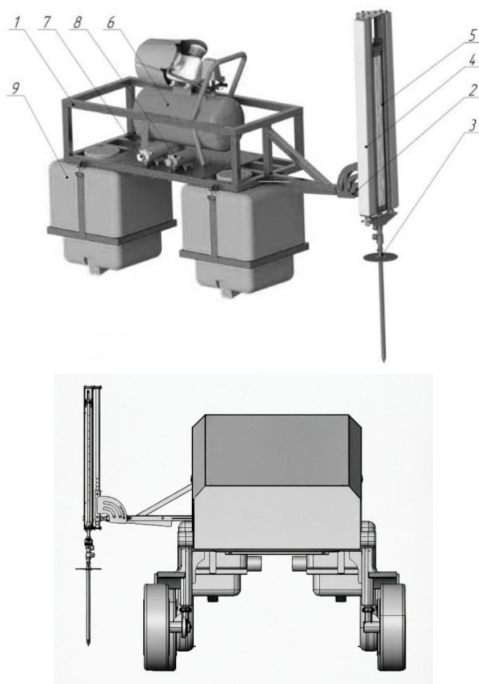


Рисунок 1 Модуль внутрипочвенного иньектора отдельно и в агрегате с роботизированным шасси

- 1 – рама; 2 – выносная секция; 3 – бур со сменными насадками;
 4 – направляющие; 5 – электроцилиндр; 6 – компрессор с ресивером;
 7 – насос для рабочей жидкости; 8 – насос для воды;
 9 – баки для жидкости и воды

Сопротивление почвы внедрению иньектора определяется суммой двух составляющих:

$$P' = P'_n + P'_b, \quad (1)$$

где P'_n – сопротивление разрушению почвы в зоне наконечника, P'_b – сопротивление трению по боковой поверхности.

Для конического наконечника с углом заострения α , сопротивление в зоне наконечника рассчитывается с учётом коэффициента формы $\varphi(\alpha)$, определяемого эмпирически:

$$\varphi(\alpha) = k_1 \cdot f(\alpha), \quad (2)$$

где $k_1 = 0,2-0,4$. Сопротивление по боковой поверхности зависит от удельного касательного напряжения τ и площади контакта $S = \pi dh$.

При диаметре инжектора 0,04 м и глубине внедрения до 0,6 м расчётное усилие составляет 1200–1700 Н в зависимости от влажности и плотности почвы. С учётом коэффициента запаса, учитывающего неоднородность почвенного массива, выбран линейный электрический актуатор с номинальным усилием 2000 Н, ходом штока 800 мм, скоростью перемещения 55 мм/с и напряжением питания 24 В. Такие параметры обеспечивают стабильное внедрение в широком диапазоне почвенных условий и совместимы с системами автоматического управления.

Сравнительные показатели (на 1 га сада), экономия удобрений 30–50%, снижение трудозатрат до 60%, увеличение урожайности 15–30% при оптимальном режиме, окупаемость оборудования 2–4 сезона.

Перспективы развития данной технологии включают активное внедрение беспроводных датчиков с удалённым доступом для мониторинга влажности и питательного режима почвы в реальном времени с автоматической корректировкой норм внесения. Развитие автономных платформ для работы в интенсивных садах с высокой плотностью посадки особенно актуально в условиях дефицита рабочей силы. Роботизированные инжекторы на базе искусственного интеллекта и облачных платформ управления обеспечивают мониторинг состояния посевов в реальном времени, точную диагностику болезней растений, точечный полив и внесение удобрений.

Помимо жидких минеральных удобрений, технология внутривредной инъекции адаптируется для подачи составов на основе гидрогелей, способных удерживать влагу в корнеобитаемом слое и постепенно высвобождать питательные вещества, что особенно перспективно для засушливых регионов. Кроме того, внесение водно-воздушных смесей позволяет осуществлять контролируемое рыхление подпочвенных горизонтов без нарушения верхнего слоя, улучшая аэрацию и водопроницаемость уплотнённых прослоек, что важно для старовозрастных садов.

Технология особенно актуальна в условиях учащающихся засух, так как обеспечивает доставку питательных веществ непосредственно к корням даже при дефиците влаги в верхних слоях почвы. Устойчивость растений к засухе и экстремальным температурам значительно повышается при внутривредном способе питания.

Перспективными направлениями так же является создание полностью автономных роботизированных инжекторов с ультразвуковым или лазерным позиционированием относительно ствола каждого дерева. Применение алгоритмов машинного обучения для динамической оптимизации глубины инъекции и объёма вносимого раствора в зависимости от данных предварительного сканирования почвы.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на верификацию расчётных параметров, оценку влияния инъекционного питания на качество плодов и долгосрочную динамику плодородия почв, а также на раз-

работку отечественных серийных образцов инжекторных модулей, включая роботизированные версии с функциями адаптивного внесения гидрорегуляторов и водно-воздушных смесей.

Список использованной литературы

1. Федоренко В. Ф. Обоснование параметров природоподобных технических систем внутрипочвенной обработки садовых насаждений // Техника и оборудование для села. 024. 11. С. 2-5
2. Федоренко В.Ф., Селиванов В.Г., Аристов Э.Г., Краховецкий Н.Н. Исследование инновационной технологии подпочвенного орошения при возделывании плодово-ягодных культур и виноградников // Техника и оборудование для села. 2019. № 12(270). С. 17–22. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-12-17-22.
3. Гайбарян М.А., Тетерин В.С., Сидоркин В.И., Гапеева Н.Н. Модернизация технического средства для внутрипочвенного внесения органоминеральных удобрений // Технический сервис машин. 2020. № 2(139). С. 12–20. DOI: 10.22314/2618-8287-2020-58-2-12-20.
4. Патент № 2817889 С1 Российская Федерация, МПК А01С 23/02, А01G 29/00. Автоматизированный модуль-инъектор: № 2023133704 : заявл. 18.12.2023 : опубл. 22.04.2024 / И.Г. Смирнов, Д.О. Хорт, Р.А. Филиппов [и др.] ; заявитель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.
5. Патент № 2802309 С1 Российская Федерация, МПК А01С 23/02, А01С 5/04, А01G 29/00. Пневмогидробур с защитным устройством: № 2023103360 : заявл. 15.02.2023 : опубл. 24.08.2023 / Э.Г. Аристов, Р.А. Филиппов, В.Ф. Федоренко [и др.] ; заявитель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.
6. Патент № 2841266 С1 Российская Федерация, МПК G01N 1/04, G01N 33/24, А01С 23/02. Пневмогидробур-пробоотборник внутрипочвенный экспресс-мониторинга, обработки и отбора проб почвы: заявл. 29.01.2025 : опубл. 05.06.2025 / В.Ф. Федоренко, И.Г. Смирнов, И.В. Федоренко [и др.] ; заявитель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

УДК: 631.8:631.454

О.А. Митрохина, канд. с.-х. наук

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

«Курский федеральный аграрный научный центр», г. Курск

e - mail: mitrokhina1977@mail.ru

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПОЧВ ЦЧР И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

Ключевые слова: яровой ячмень, урожайность, микроэлементы, почвы. ЦЧР.

Key words: spring barley, yield, microelements, soils. Central Black Earth Region.