

## МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ УДОБРЕНИЙ

Е. М. ШАЛЫПИНА, магистрант  
В. И. КОЦУБА, канд. техн. наук, доцент

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
Горки, Республика Беларусь

**Введение.** Одним из перспективных направлений повышения урожайности сельскохозяйственных культур является внутрипочвенное внесение жидких удобрений. Существенным их преимуществом является обеспечение растений легкодоступными элементами питания на протяжении всего периода вегетации, что особенно важно в засушливые годы [2–11, 14, 16, 17].

Внутрипочвенное внесение жидких минеральных удобрений позволит обеспечить полноценное питание растений в различные периоды вегетации. В результате создаются условия для наиболее полного использования потенциала почвы и повышается урожайность возделываемых культур. Для внутрипочвенного внесения могут применяться минеральные, органические и комплексные жидкие удобрения. Внесение жидких минеральных удобрений требует точного соблюдения дозировок, так как превышение дозировки приводит к негативным последствиям вплоть до гибели растения.

В последнее время широкое распространение для внутрипочвенного внесения жидких минеральных удобрений получили ликвилайзеры. Рабочими органами ликвилайзера являются колеса с иглами-инъекторами, которые перекатываясь по поверхности поля, прокалывают почву и вводят жидкость на нужную глубину [15, 18].

Однако проблемой остается обеспечение равномерности их внесения по глубине, особенно при подкормке растений, а также исключение выноса удобрений на поверхность при использовании ротационных рабочих органов. Поэтому необходимы дополнительные исследования по обоснованию рабочих органов с целью повышения эффективности внутрипочвенного внесения жидких удобрений.

**Цель работы** – теоретически обосновать количество инъекторов на рабочем колесе, разработать программу и методику лабораторных исследований, а также разработать лабораторную установку для иссле-

дования параметров инжекторов для внутривпочвенного внесения жидких удобрений.

**Материалы и методика исследований.** Когда рабочее колесо перекатывается по поверхности поля, инжекторы погружаются в почву. Количество инжекторов, одновременно заглубленных в почву, определяется исходя из диаметра рабочего колеса, высоты инжектора и количества инжекторов на рабочем колесе (рис. 1).

Угол  $\varphi$  между вертикальной осью рабочего колеса и инжектором в точке касания почвы определяется по формуле [1, 15, 17]

$$\varphi = \arccos\left(\frac{R}{R+h}\right), \quad (1)$$

где  $R$  – радиус рабочего колеса, м;

$h$  – высота инжектора, м.

$$\varphi = \arccos\left(\frac{0,30}{0,30+0,08}\right) = 37,9^\circ (0,6616 \text{ радиан}),$$

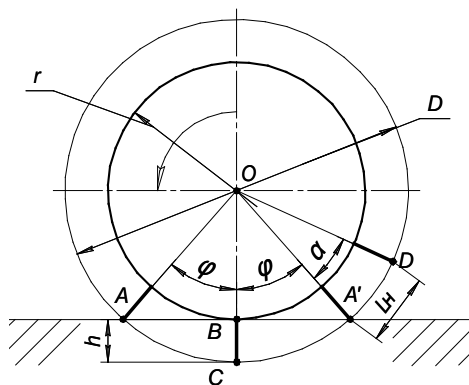


Рис. 1. Схема движения рабочего колеса

Угол  $\alpha$  между двумя соседними инжекторами определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{2\pi}{N}, \quad (2)$$

где  $N$  – количество инжекторов на рабочем колесе, шт.

$$\alpha = \frac{2 \cdot 3,14}{12} = 0,523 \text{ рад}(29,97^\circ),$$

В свою очередь количество инжекторов на рабочем колесе определяется исходя из необходимого расстояния между точками внесения удобрения:

$$N = \frac{\pi(D + 2h)}{L_n}, \quad (3)$$

где  $D$  – диаметр рабочего колеса, м;

$L_n$  – линейное расстояние между концами инжекторов, равное расстоянию между точками внесения удобрений, м.

$$N = \frac{3,14 \cdot (0,6 + 2 \cdot 0,08)}{0,20} = 11,9. \text{ Принимаем } N = 12.$$

Количество инжекторов, заглубленных в почву, определим делением удвоенного угла в точке касания инжектором почвы на угол между двумя смежными инжекторами:

$$n = \frac{2\varphi}{\alpha} = \frac{N \arccos\left(\frac{R}{R+h}\right)}{\pi}. \quad (4)$$

$$n = \frac{12 \cdot 0,6616}{3,14} = 2,53.$$

Анализ уравнений показал, что угол касания инжектором почвы и количество заглубленных инжекторов уменьшаются с увеличением радиуса рабочего колеса. Количество заглубленных инжекторов влияет на равномерность внесения удобрений, усилие заглубления и тяговое сопротивление рабочих колес.

На этапе лабораторных исследований ставится задача получить математическую модель процесса внутрипочвенного внесения жидких удобрений и определить рациональные конструктивные и технологические параметры разрабатываемых рабочих органов. Основным критерием при проведении исследований являются производительность процесса внутрипочвенного внесения жидких удобрений при соблюдении агротехнических требований.

Программа лабораторных исследований включает изучение физико-механических свойств жидких удобрений как материала для работы

инъекторов, обоснование интервалов и уровней варьирования основных факторов для проведения дальнейших исследований процесса внутрипочвенного внесения жидких удобрений, а также определение рациональных значений параметров инъекторов и получение математической модели процесса внесения жидких удобрений [12, 13].

В дальнейшем проводятся полевые испытания для проверки результатов теоретических и лабораторных исследований в производственных условиях, а также проведения сравнительной оценки предлагаемого аппарата для внутрипочвенного внесения жидких удобрений с существующими аппаратами.

Для проведения лабораторных исследований процесса внутрипочвенного внесения жидких удобрений была изготовлена лабораторная установка (рис. 2).

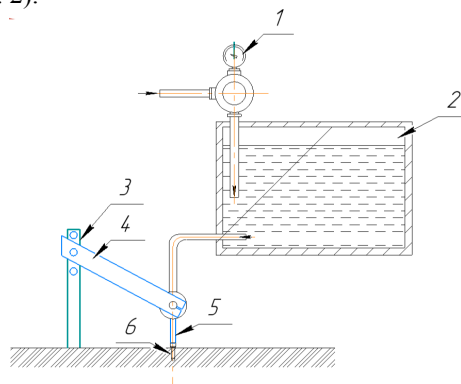


Рис. 2. Лабораторная установка для исследования внутрипочвенного внесения жидких удобрений: 1 – манометр; 2 – бак; 3 – стойка; 4 – кронштейн с отверстием; 5 – шланг; 6 – инъектор

Лабораторная установка состоит из установленного на раме установки бака 2 с раствором жидких минеральных удобрений. На стойке 3 с кронштейном 4 смонтирован сменный инъектор 6, который имеет возможность погружаться в слой почвы на различную глубину и под различным углом. Раствор из бака 2 под давлением через шланг 5 подается в инъектор и впрыскивается в почву. Различное давление в баке обеспечивается за счет компрессора и контролируется по манометру 1.

Конструкция лабораторной установки позволяет в необходимых пределах изменять следующие параметры: давление воздуха, поступающего в бак; глубину вхождения инъектора в почву; угол вхождения инъектора в почву; диаметр отверстия инъектора.

Экспериментальные исследования проводятся по шести факторам, области изменения которых определяются исходя из конструктивных и технологических соображений. По мере исследования каждого фактора дальнейшие эксперименты проводятся при фиксировании исследованного фактора на уровне, соответствующем наилучшему значению параметра оптимизации [12, 13].

Опыты по исследованию параметров предлагаемого аппарата для внутрипочвенного внесения жидких удобрений выполняются по нижеприведенной методике.

Бак заполняется раствором, с помощью компрессора в баке создается требуемое давление, измеряемое манометром. На кронштейн устанавливается инжектор с исследуемым диаметром отверстия и заглубляется в почву на требуемую глубину и под требуемым углом. После чего открывается кран и раствор из бака через инжектор подается в почву. При проведении опытов измеряется расход рабочего раствора, глубина и площадь его внесения в почву по размерам пятна влажной почвы. Каждый опыт проводится в трехкратной повторности.

**Заключение.** Теоретические исследования рабочих органов для внутрипочвенного внесения жидких удобрений показали, что угол касания инжектором почвы и количество заглубленных инжекторов уменьшаются с увеличением радиуса рабочего колеса. Количество заглубленных инжекторов влияет на равномерность внесения удобрений, усилие заглубления и тяговое сопротивление рабочих колес.

Разработана программа и лабораторная установка для выполнения лабораторных исследований инжекторов для внутрипочвенного внесения жидких удобрений. Конструкция лабораторной установки позволяет в необходимых пределах изменять следующие параметры: давление воздуха, поступающего в бак; глубину вхождения инжектора в почву; угол вхождения инжектора в почву; диаметр отверстия инжектора. Параметрами для оценки качества внесения удобрений являются расход рабочего раствора, глубина и площадь его внесения в почву

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – Москва: Наука, 1986. – 554 с.
2. Козловская, И. П. Производственные технологии в агрономии / И. П. Козловская, В. Н. Босак. – Москва: ИНФРА-М, 2016. – 336 с.
3. Лапа, В. В. Влияние форм азотных удобрений на урожайность и качество сахарной свеклы / В. В. Лапа, В. Н. Босак, О. Ф. Смянович // Состояние и пути развития производства сахарной свеклы в Республике Беларусь. – Минск, 2003. – С. 98–99.

4. Лапа, В. В. Минеральные удобрения и пути повышения их эффективности / В. В. Лапа, В. Н. Босак. – Минск, 2002. – 184 с.
5. Лапа, В. В. Применение жидких удобрений Адоб и Басфолиар в технологиях возделывания озимых культур / В. В. Лапа, М. В. Рак, В. Н. Босак // Белорусское сельское хозяйство. – 2006. – № 9. – С. 44–45.
6. Лапа, В. В. Эффективность различных форм азотных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / В. В. Лапа, В. Н. Босак // Почвоведение и агрохимия. – 2002. – № 32. – С. 69–79.
7. Лапа, В. Применение жидких удобрений в технологиях возделывания озимых культур / В. Лапа, М. Рак, В. Босак // Главный агроном. – 2008. – № 7. – С. 15–17.
8. Максимова, С. Л. Применение жидких гуминовых удобрений на основе биогуруса в интенсивном земледелии / С. Л. Максимова, В. Н. Босак, Е. Г. Лузин. – Минск, 2014. – 14 с.
9. Применение однокомпонентных и комплексных удобрений / В. Н. Босак [и др.]. – Минск: БГТУ, 2018. – 30 с.
10. Применение органических удобрений в интенсивном земледелии / И. Р. Вильдфлуш [и др.]. – Горки: БГСХА, 2015. – 50 с.
11. Рак, М. В. Удобрения Эколист на посевах озимых зерновых культур / М. В. Рак, В. Н. Босак, В. С. Бобер // Белорусское сельское хозяйство. – 2004. – № 10. – С. 7–8.
12. Рогов, В. А. Методика и практика технических экспериментов / В. А. Рогов, Г. Г. Позняк. – Москва: Академия, 2005. – 283 с.
13. Спирин, Н. А. Методы планирования и обработки результатов инженерного эксперимента / Н. А. Спирин, В. В. Лавров. – Екатеринбург, 2004. – 257 с.
14. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]. – Минск, 2007. – 390 с.
15. Теоретическое обоснование конструктивных параметров рабочих органов для внутрипочвенного внесения жидких удобрений / В. И. Коцуба, В. В. Пузевич, Е. М. Шальпина, В. М. Кузюр // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2023. – № 1 (22). – С. 238–244.
16. Шальпина, Е. М. Анализ рабочих органов машин для внутрипочвенного внесения жидких удобрений / Е. М. Шальпина, В. И. Коцуба // Инновационные решения в технологиях и механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2023. – Вып. 8. – С. 193–197.
17. Шальпина, Е. М. Теоретическое обоснование движения рабочих органов для внутрипочвенного внесения жидких удобрений / Е. М. Шальпина, В. И. Коцуба // Актуальные вопросы механизации сельскохозяйственного производства. – Горки: БГСХА, 2023. – С. 78–80.
18. Dupont Liquiliser [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dupont.eu/resources/image/files/Folder%20Dupont%20Liquiliser%20april%202022%20EN%2028042022%20mailversie.pdf>. – Дата доступа: 27.10.2023.

*Аннотация.* Проведены теоретические исследования применения игольчатых дисков с полыми иглами-инъекторами для внутрипочвенного внесения жидких удобрений. Разработана установка для лабораторных исследований инъекторов.

*Ключевые слова:* жидкие минеральные удобрения, внутрипочвенное внесение, рабочие органы, инъекторы, лабораторная установка.