

Научная статья
УДК 631.333 ; 631.3-181.4
DOI 10.66783/2782-3172.2026.54.71.012

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО И ВНУТРИПОЧВЕННОГО ВНЕСЕНИЯ ЖИДКИХ УДОБРЕНИЙ МАЛОГАБАРИТНОЙ ТЕХНИКОЙ

Олег Олегович Сидоров (ORCID: 0009-0003-9829-4368), Губейдулла Сибятуллович Юнусов
(ORCID: 0000- 0003-2127-6439)
Марийский государственный университет, Йошкар-Ола, Россия
Автор, ответственный за переписку: Олег Олегович Сидоров, oleg.sidorov23@yandex.ru

Аннотация

В статье представлены результаты сравнительного анализа эффективности поверхностного и внутрипочвенного способов внесения жидких минеральных удобрений с использованием малогабаритного агрегата. Приведены математические зависимости для расчета дозы внесения, коэффициента равномерности распределения, потерь питательных веществ и энергозатрат. Установлено, что внутрипочвенное внесение обеспечивает коэффициент равномерности распределения 92–95 %, что превышает показатели поверхностного способа (84–92 %). Потери азота при внутрипочвенной заделке сокращаются до 2–3 % против 5–10 % при поверхностном внесении. Обоснованы рациональные параметры работы агрегата для каждого способа внесения исследованного типа удобрения. Показано, что распространение полученных закономерностей на другие виды жидких удобрений требует учета их физико-химических свойств.

Ключевые слова: малогабаритная техника, жидкие удобрения, поверхностное внесение, внутрипочвенное внесение, равномерность распределения, потери азота, КАС-32

Финансирование: исследование, на основе результатов которого написана данная статья, финансировалось за счет средств авторов

Для цитирования: Сидоров О. О., Юнусов Г. С. Сравнительный анализ эффективности поверхностного и внутрипочвенного внесения жидких удобрений малогабаритной техникой // Вестник Вятского ГАТУ. 2026. № 3. С. 113–125. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.54.71.012.

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE SURFACE AND INTRASOIL APPLICATION OF LIQUID FERTILIZERS EFFECTIVENESS USING SMALL-SIZED EQUIPMENT

Oleg O. Sidorov (ORCID: 0009-0003-9829-4368), Gubeidulla S. Yunusov (ORCID: 0000- 0003-2127-6439)
Mari State University, Yoshkar-Ola, Russia
Corresponding author: Oleg Olegovich Sidorov, oleg.sidorov23@yandex.ru

Abstract

The article presents the results of the comparative analysis of the surface and intrasoil application of liquid mineral fertilizers effectiveness using a small-sized unit. Mathematical dependencies are provided for calculating the application dose, uniformity coefficient, nutrient losses, and energy consumption. It has been established that intrasoil application ensures the uniformity

coefficient of 92–95%, which exceeds the indicators for the surface method (84–92%). Nitrogen losses during intrasoil incorporation are reduced to 2–3%, compared to 5–10% in case of the surface application. The rational operating parameters of the unit for each application method of the studied fertilizer type have been substantiated. It is shown that the extension of the obtained regularities to other types of liquid fertilizers requires consideration of their physicochemical properties.

Keywords: small-sized equipment, liquid fertilizers, surface application, intrasoil application, uniformity of distribution, nitrogen losses, KAS-32

Funding: the study on which this article is based was funded by the authors' own funds

For citation: Sidorov OO, Yunusov GS. Comparative analysis of the surface and intrasoil application of liquid fertilizers effectiveness using small-sized equipment. Vestnik Vyatskogo GATU. 2026;(3):113–125. DOI: 10.66783/2782-3172.2026.54.71.012. (In Russ.).

Введение. В современных условиях развития малых форм хозяйствования особую актуальность приобретает применение малогабаритной техники для внесения жидких минеральных удобрений. Среди существующих способов внесения жидких удобрений выделяют две основные группы: поверхностное и внутрипочвенное [1, 2]. Каждый из этих способов имеет свои технологические особенности, преимущества и ограничения, что требует комплексного сравнительного анализа для обоснования выбора оптимального метода в конкретных производственных условиях.

Поверхностное внесение жидких минеральных удобрений выполняется с помощью штанговых опрыскивателей или шланговых систем и отличается высокой производительностью. Однако, как отмечают Назаров Н. Н. и Некрасова И. В., неравномерность распределения рабочей жидкости при данном способе, выраженная коэффициентом вариации, может достигать 20 % и более, что снижает эффективность применяемых азотных удобрений до 45–50 %, фосфорных – до 15–20 % [3, 4].

Внутрипочвенное внесение признаётся более рациональным и экологически безопасным способом. При его использовании отклонение фактической дозы от заданной не превышает ± 10 %, а неравномерность внесения остается в пределах 10–15 % [5]. В работах Буксмана В. З. и Милюткина В. А. показано, что внутрипочвенное внесение удобрений под подсолнечник обеспечило прибавку урожайности на 7,8–15,9 % по сравнению с поверхностно-разбросным способом [6].

Цель исследования – провести сравнительный анализ эффективности поверхностного и внутрипочвенного способов внесения жидких минеральных удобрений с использованием малогабаритной техники по таким критериям, как равномерность распределения, потери питательных веществ, глубина проникновения удобрений и энергозатраты на примере жидкого азотного удобрения КАС-32.

Материалы и методы. Объектом исследования являлся малогабаритный агрегат (рисунок 1) для внесения жидких минеральных удобрений, агрегатируемый с мотоблоком. Конструкция агрегата включает расширительный бачок с системой подачи жидких удобрений, насос, распределительную штангу с форсунками, а также плунжерные окучники для внутрипочвенного внесения и дисковые окучники для заделки борозд.

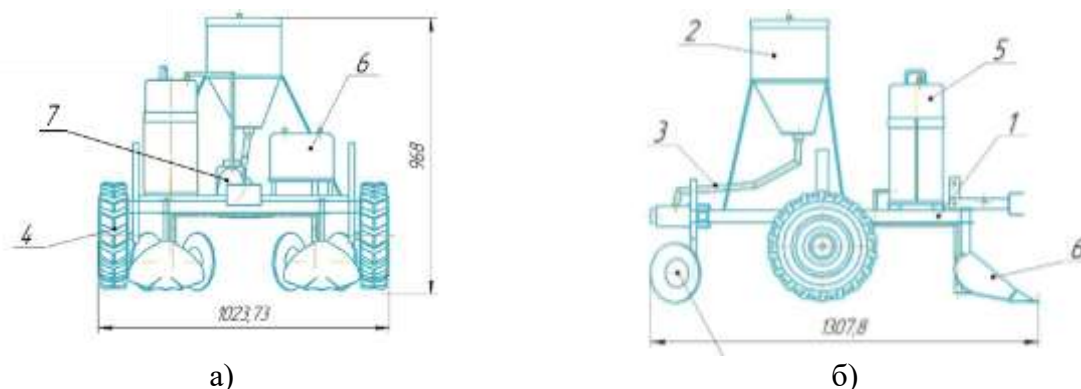


Рисунок 1. Малогабаритный агрегат для внесения жидких минеральных удобрений:

- а) вид спереди; б) вид сбоку;
1 – рама; 2 – бункер сухих удобрений; 3 – трубопровод; 4 – опорное колесо;
5 – расширительный бачок; 6 – плунжерный окучник; 7 – компрессор;
8 – дисковый окучник; 9 – разбрасыватель

Опыты проводили на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве (рисунок 2). Влажность почвы поддерживали на уровне 18–22 %. В качестве жидкого удобрения использовали раствор КАС-32. Выбор данного типа удобрения обусловлен его широким распространением в сельскохозяйственном производстве и высокой летучестью азота, что позволяет наиболее наглядно оценить преимущества внутрипочвенного внесения по критерию снижения потерь питательных веществ. Однако следует учитывать, что полученные количественные показатели (потери азота, равномерность распределения) могут варьировать при использовании других видов жидких удобрений (например, суспензий, фосфорных или комплексных удобрений) из-за различий в плотности, вязкости и размерах твердых частиц, что требует проведения отдельных исследований.



Рисунок 2. Малогабаритный агрегат для внесения жидких минеральных удобрений на испытании

Исследовали следующие варьируемые параметры для обоих способов внесения:

- давление в расширительном бачке ($P = 0,2; 0,4; 0,6$ МПа);
- производительность насоса ($Q = 20; 30; 40$ л/мин);
- скорость движения агрегата ($v = 2; 4; 6$ км/ч).

Оценку качества внесения проводили методом контрольных площадок в соответствии с ГОСТ 28714-2007 [7].

При поверхностном внесении жидкие удобрения распределяются по поверхности почвы с помощью штангового опрыскивателя. Технологическая схема поверхностного внесения включает следующие этапы.

- 1) *Подготовка рабочего раствора.* В расширительный бачок заливается расчетное количество жидкого удобрения КАС-32 и при необходимости разбавляется водой до требуемой концентрации. Перемешивание раствора осуществляется за счёт циркуляции через насос.
- 2) *Создание рабочего давления.* Диафрагменный насос, приводимый в действие от вала отбора мощности мотоблока или автономного электродвигателя, создаёт в системе заданное давление (регулируется в диапазоне 0,2–0,6 МПа). Давление контролируется по манометру, установленному в магистрали.
- 3) *Подача раствора к форсункам.* Под давлением рабочий раствор по трубопроводам поступает к распылительным форсункам, установленным на телескопической штанге. Штанга может регулироваться по высоте (от 0,3 до 1,0 м над поверхностью почвы) и ширине захвата (от 0,8 до 2,0 м) в зависимости от обрабатываемой культуры и рельефа участка.
- 4) *Распыление на поверхность* (рисунок 3). Через форсунки раствор диспергируется в виде мелкодисперсного факела с размером капель 150–250 мкм и равномерно распределяется по поверхности почвы. Рабочая ширина захвата при поверхностном внесении составляет $B = 0,7–1,6$ м в зависимости от количества установленных форсунок и расстояния между ними.



Рисунок 3. Процесс внесения жидких минеральных удобрений поверхностным способом

Конструктивной особенностью поверхностного внесения является применение штанги с независимой регулировкой каждой секции, что позволяет адаптироваться к рельефу поля и минимизировать перекрытие факелов распыла.

При внутрипочвенном внесении жидкие удобрения заделываются непосредственно в корнеобитаемый слой почвы на заданную глубину. Для реализации данного способа агрегат оснащается плунжерными окучниками со встроенными форсунками и дисковыми окучниками для заделки борозд. Технологическая схема внутрипочвенного внесения включает следующие этапы.

- 1) *Подготовка рабочего раствора и создание давления.* Осуществляется аналогично поверхностному способу, но при внутрипочвенном внесении требуется более

стабильное давление для преодоления сопротивления почвы при впрыске (рекомендуемый диапазон 0,3–0,5 МПа).

- 2) *Формирование борозды.* Плунжерный окучник, представляющий собой стрельчатый рабочий орган (двустороннюю лапу) с шириной захвата 8–12 см, при движении агрегата заглубляется в почву на заданную глубину (регулируется в диапазоне 6–10 см) и формирует борозду с ровным дном. Угол атаки окучника составляет 15–20°, что обеспечивает минимальное сопротивление и качественное рыхление стенок борозды.
- 3) *Впрыск удобрения в борозду* (рисунок 4). Непосредственно за плунжерным окучником, в нижней части сформированной борозды, расположена форсунка (встроенная в стойку окучника), через которую под давлением подаётся жидкое удобрение. Форсунка имеет направленный вниз факел распыла, что обеспечивает локализацию удобрения на дне борозды. Важной конструктивной особенностью является защита форсунки от забивания почвой: она установлена заподлицо с задней стенкой окучника и имеет обратный клапан, предотвращающий обратный ток раствора и попадание почвы.



Рисунок 4. Процесс внесения жидких минеральных удобрений внутрипочвенным способом

- 4) *Заделка борозды* (рисунок 5). Следом за плунжерным окучником на расстоянии 15–20 см устанавливаются дисковые окучники, которые засыпают борозду почвой. Диски имеют угол атаки 25°–30° и закреплены на раме с возможностью регулировки глубины и угла. Заделка борозды обеспечивает герметизацию внесённого удобрения в почве, предотвращая его испарение и контакт с атмосферным воздухом.

Глубина заделки удобрений контролируется заглублением плунжерного окучника и регулируется изменением положения опорных колёс или глубиной хода мотоблока. Допустимое отклонение глубины заделки составляет $\pm 1,5$ см, что соответствует агротехническим требованиям [10].



Рисунок 5. Заделка борозды с помощью дисковых окучников

Принципиальное отличие внутрипочвенного способа от поверхностного заключается в том, что рабочая жидкость подаётся не на поверхность почвы, а непосредственно в борозду на заданной глубине, после чего борозда засыпается, что обеспечивает размещение питательных веществ в зоне активной корневой системы растений.

Математические зависимости для расчета показателей эффективности.

1. Расчет дозы внесения жидких удобрений.

Доза внесения жидких удобрений (D , кг/га) определяется производительностью насоса, концентрацией рабочего раствора, скоростью движения агрегата и шириной захвата [8]:

$$D = \frac{Q \cdot C \cdot 10}{v \cdot B}, \quad (1)$$

где Q – производительность насоса, л/мин;

C – концентрация действующего вещества в растворе, кг/л;

v – скорость движения агрегата, км/ч;

B – ширина захвата, м;

коэффициент 10 – для перевода единиц измерения в кг/га.

При $P = 0,4$ МПа, $Q = 30$ л/мин, $C = 0,2$ кг/л, $v = 4$ км/ч, $B = 0,7$ м

$$D = \frac{30 \cdot 0,2 \cdot 10}{4 \cdot 0,7} = \frac{60}{2,8} \approx 21,43 \frac{\text{кг}}{\text{га}}$$

2. Оценка равномерности распределения.

Коэффициент равномерности распределения ($K_{\text{равн}}$, %) рассчитывается на основе данных, полученных с контрольных площадок [9]:

$$K_{\text{равн}} = \left(1 - \frac{\sigma}{\bar{x}}\right) \cdot 100\%, \quad (2)$$

где σ – стандартное отклонение доз внесения на контрольных площадках, кг/га;

$\bar{x}$ – средняя доза внесения по всем контрольным площадкам, кг/га.

Стандартное отклонение определяется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (3)$$

где n – количество контрольных площадок, шт.;
 x_i – доза внесения на i -й площадке, кг/га.

Коэффициент вариации (V , %) рассчитывается как

$$V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

при этом $K_{\text{равн}} = 100 - V$.

3. Потери питательных веществ.

Потери азота (L , %) при внесении жидких удобрений определяются балансовым методом [10]:

$$L = \frac{D_{\text{вн}} - D_{\text{п}}}{D_{\text{вн}}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

где $D_{\text{вн}}$ – доза внесенного удобрения, кг/га;

$D_{\text{п}}$ – количество питательного элемента, обнаруженное в почвенном профиле через заданный период, кг/га.

Зависимость потерь азота от глубины заделки описывается экспоненциальной функцией

$$L = L_0 \cdot e^{-k \cdot (H - H_{\text{min}})}, \quad (6)$$

где L_0 – базовые потери при минимальной глубине заделки ($H_{\text{min}} = 6$ см), %;

H – текущая глубина заделки, см;

k – коэффициент затухания потерь (экспериментально $k = 0,15$).

При поверхностном внесении ($H = 0$ см) базовые потери составляют 10 %, при внутрипочвенном внесении ($H = 6$ см)

$$L = 10 \cdot e^{-0,15 \cdot (6-0)} = 10 \cdot e^{-0,9} \approx 10 \cdot 0,406 = 4,06 \, \%.$$

При глубине заделки $H = 8$ см

$$L = 10 \cdot e^{-0,15 \cdot (8-0)} = 10 \cdot e^{-1,2} \approx 10 \cdot 0,301 = 3,01 \, \%.$$

4. Эффективность заделки удобрений.

Эффективность заделки ($E_{\text{задел}}$, %) показывает, какая доля внесенного удобрения остается в целевом корнеобитаемом слое [11]:

$$E_{\text{задел}} = \frac{C_{5-10}}{C_{0-10}} \cdot 100\%, \quad (7)$$

где C_{5-10} – содержание элемента питания в слое почвы 5–10 см, %;

C_{0-10} – общее содержание элемента в слое 0–10 см, %.

5. Энергозатраты на внесение.

Удельные энергозатраты ($E_{га}$, кВт·ч/га) рассчитываются по формуле

$$E_{га} = \frac{P_{нас} \cdot t}{S_{обр}} \cdot 10^{-3}, \quad (8)$$

где $P_{нас}$ – мощность насоса, Вт;
 t – время работы агрегата, ч;
 $S_{обр}$ – обработанная площадь, га.

Мощность насоса определяется как

$$P_{нас} = Q \cdot \Delta P / \eta, \quad (9)$$

где ΔP – перепад давления в системе, Па;
 η – коэффициент полезного действия насоса (принимается $\eta = 0,75$).

Результаты и обсуждение. При поверхностном внесении жидких удобрений коэффициент равномерности распределения варьировал в диапазоне 84–92 % в зависимости от давления в системе и скорости движения агрегата (таблица 1). Наилучшие показатели равномерности (92 %) были достигнуты при давлении 0,4 МПа и скорости движения 4 км/ч. Однако даже в оптимальном режиме наблюдались зоны перекрытия факелов распыла, где доза внесения превышала среднюю на 15–20 %, что согласуется с данными Назарова Н. Н. о формировании высококонцентрированных полос [3, 8].

При внутрипочвенном внесении коэффициент равномерности распределения достигал 92–95 % во всех исследованных режимах работы. Это объясняется тем, что внесение удобрений непосредственно в борозду, формируемую плунжерным окучником, обеспечивает более точное дозирование и локализацию питательных веществ в заданном слое почвы.

Таблица 1. Сравнительная оценка равномерности распределения жидких удобрений

Способ внесения	Давление P , МПа	Скорость v , км/ч	$K_{равн}$, %	Коэффициент вариации, %
Поверхностный	0,3	4	85	15
Поверхностный	0,4	4	92	8
Поверхностный	0,5	4	93	7
Внутрипочвенный	0,3	4	92	8
Внутрипочвенный	0,4	4	95	5
Внутрипочвенный	0,5	4	95	5

Одним из ключевых преимуществ внутрипочвенного внесения является значительное снижение потерь азота. При поверхностном внесении потери азота, обусловленные аммонификацией и улетучиванием аммиака, составляли 5–10 % от внесенного количества. Как отмечается в исследованиях, при повышенных температурах эффективность КАСов снижается, а потери азота при поверхностном внесении мочевины без заделки могут составлять 40 % и более [12].

Внутрипочвенное внесение позволило снизить потери азота до 2–3 % благодаря размещению удобрения в корнеобитаемом слое на глубине 6–8 см, что исключает контакт с атмосферным воздухом и предотвращает поверхностный сток. Расчет по формуле (6) показывает, что при глубине заделки 6 см потери снижаются до 4,06 %, а при глубине 8 см – до 3,01 %.

Анализ содержания азота в почвенном профиле через 14 дней после внесения показал, что при поверхностном способе до 40 % азота обнаруживалось в верхнем слое 0–5 см, тогда как при внутрипочвенном внесении 85–90 % азота оставалось в слое 5–10 см, что подтверждает более высокую эффективность заделки. Эффективность заделки,

рассчитанная по формуле (7), для поверхностного способа составила 22–25 %, для внутрипочвенного – 85–90 %.

Глубина проникновения удобрений в почву при поверхностном внесении ограничивалась верхним слоем 0–3 см, что делало питательные вещества уязвимыми для испарения и вымывания. При обильных осадках удобрения могли вымываться в более глубокие слои, но уже за пределами активной корневой системы.

Внутрипочвенное внесение с использованием плунжерных окучников обеспечивало заделку удобрений на глубину 6–8 см с допустимыми отклонениями $\pm 1,5$ см, что соответствует агротехническим требованиям [5].

Сравнительный анализ энергозатрат показал, что внутрипочвенное внесение требует несколько больших энергетических затрат 1,0–1,3 кВт·ч/га по сравнению с поверхностным способом 0,8–1,0 кВт·ч/га из-за необходимости формирования борозды. Расчет по формуле (6) при мощности насоса 1,2 кВт, времени работы 0,5 ч и обработанной площади 0,6 га дает

$$E_{\text{га}} = \frac{1200 \cdot 0,5}{0,6} \cdot 10^{-3} = 1,0 \text{ кВт} \cdot \text{ч/га}.$$

Производительность при поверхностном внесении выше 13,0 га/смену, чем 11,5 га/смену при внутрипочвенном, но при внутрипочвенном способе качество внесения удобрения выше и ниже потери питательных элементов с внесенного удобрения.

Полученные результаты справедливы для водного раствора КАС-32, характеризующегося относительно невысокой вязкостью и гомогенностью. При переходе к другим видам жидких удобрений, в частности к суспензионным удобрениям или препаратам с повышенной вязкостью, эффективность работы плунжерного окучника и форсунок может измениться. Ожидается, что для более вязких составов потребуются корректировка давления в системе (формула 9) для обеспечения стабильного факела распыла, а для суспензий – дополнительный контроль за забиваемостью форсунок, что не было предметом данного исследования и открывает направления для дальнейших изысканий.

Заключение. Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Внутрипочвенное внесение жидкого азотного удобрения КАС-32 обеспечивает более высокую равномерность распределения (92–95 %) по сравнению с поверхностным способом (84–92 %), что соответствует агротехническим требованиям (неравномерность не более 15 %).

2. Потери азота при внутрипочвенной заделке КАС-32 сокращаются до 2–3 % против 5–10 % при поверхностном внесении, что связано с исключением контакта удобрений с атмосферой и предотвращением поверхностного стока. Экспоненциальная зависимость потерь от глубины заделки описывается формулой $L = L_0 \cdot e^{-k \cdot (H - H_{\min})}$.

3. Оптимальными параметрами работы агрегата для внутрипочвенного внесения исследованного удобрения являются: давление 0,4 МПа, производительность насоса 30 л/мин, скорость движения 4 км/ч, глубина заделки 6–8 см.

4. Для поверхностного внесения КАС-32 обоснован шаг расстановки распылителей 0,5–0,75 м при давлении 0,2–0,3 МПа, что позволяет снизить неравномерность распределения до 7 % при использовании разноуровневой установки распылителей [3].

5. Применение представленных математических зависимостей позволяет оперативно рассчитывать дозу внесения, равномерность распределения, потери питательных веществ и энергозатраты для азотного удобрения КАС-32. Полученные закономерности могут служить основой для выбора оптимального способа внесения для данного типа удобрений. Для распространения выводов на другие жидкие удобрения (фосфорные, калийные, суспензионные) требуется проведение дополнительных экспериментальных исследований с учетом их физико-химических свойств, что определяет перспективу дальнейших научных работ.

Список источников

1. Бутенина А. А., Чекалин В. В. Анализ устройств для внесения жидких удобрений в почву // Проблемы внедрения результатов инновационных разработок : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции, Оренбург, 13 февраля 2019 года. Оренбург : ООО «Агентство международных исследований», 2019. С. 178–180. EDN VTZYBE.
2. Сидоров О. О., Шабалин Р. А. Технические средства для внесения жидких удобрений в почву малогабаритной техникой // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства : материалы международной научно-практической конференции, Йошкар-Ола, 20–21 марта 2025 года. Йошкар-Ола : Марийский государственный университет, 2025. С. 810–813. EDN UIXCNQ.
3. Назаров Н. Н., Некрасова И. В. Качество распределения жидких форм минеральных удобрений по обрабатываемой поверхности // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2025. Т. 55, № 5 (318). С. 106–114. DOI: 10.26898/0370-8799-2025-5-10. EDN OWUVRH.
4. Раднаев Д. Н., Зимина О. Г. Обоснование рациональных параметров сошника для посева зерновых культур с внесением удобрений ниже уровня семян // Дальневосточный аграрный вестник. 2021. № 3 (59). С. 106–115. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-3-106-115. EDN UYLWOY.
5. Сравнительная оценка различных видов удобрений и способов их применения при выращивании бахчевых культур в условиях волгоградского заволжья / Т. Г. Колебошина, С. Д. Фомин, Н. Б. Рябчикова, О. Г. Вербитская // Известия НВ АУК. 2020. № 3 (59). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitel'naya-otsenka-razlichnyh-vidov-udobreniy-i-sposobov-ih-primeneniya-pri-vyraschivanii-bahchevyh-kultur-v-usloviyah> (дата обращения: 27.08.2026).
6. Совершенствование конструкции рабочих органов и агрегатов для внутрипочвенного внесения минеральных удобрений / В. Э. Буксман, В. А. Милюткин, А. А. Перфилов [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 2 (70). С. 127–130. EDN XNAHEL.
7. ГОСТ 28714-2007. Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний. М. : Стандартинформ, 2008. 44 с.
8. Лютый А. В., Марченко В. О., Подольская Е. Е. Метод аппроксимации данных результатов испытаний разбрасывателей минеральных удобрений // Наука и Образование. 2020. Т. 3, № 4. С. 54. EDN XDNLEZ.
9. Скорляков В. И., Лютый А. В. Ресурсосберегающий метод оценки качества работы центробежных разбрасывателей минеральных удобрений // Техника и оборудование для села. 2020. № 1 (271). С. 18–22. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-1-18-22. EDN FINLRB.
10. Жешко А. А. Критерий оценки потерь от неравномерного внесения удобрений // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межведомственный тематический сборник. Минск : РУП «Издательский дом «Белорусская наука», 2025. С. 174–180. EDN VCHKEG.
11. Внутрипочвенное внесение жидких органических удобрений и оценка их доз / А. И. Панов, Н. В. Алдошин, А. А. Манохина, В. В. Семин // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 2. С. 28–33. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-28-33. EDN KDAHAI.
12. Азот в осенних полях // АПК Эксперт. 21 октября 2020. URL: <https://sdexpert.ru/news/project/azot-v-osennikh-polyakh/> (дата обращения: 27.08.2026).

References

1. Butenina AA, Chekalin VV. Analiz ustroystv dlya vneseniya zhidkikh udobreniy v pochvu = Analysis of devices for applying liquid fertilizers to the soil. In: Problemy vnedreniya rezul'tatov innovatsionnykh razrabotok: sbornik statey po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Problems of implementing the results of innovative developments: a collection

- of articles based on the results of the international scientific and practical conference. Orenburg, February 13, 2019. Orenburg: Agentstvo mezhdunarodnykh issledovaniy Publishing; 2019. P. 178–180. EDN VTZYBE. (In Russ.).
2. Sidorov OO, Shabalin RA. Tekhnicheskiye sredstva dlya vneseniya zhidkikh udobreniy v pochvu malogabaritnoy tekhnikoy = Technical means for applying liquid fertilizers to the soil using small-sized equipment. In: Aktual'nyye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaystva: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii = Current issues in improving the technology of production and processing of agricultural products: materials of the international scientific and practical conference. Yoshkar-Ola, March 20–21, 2025. Yoshkar-Ola: Mariyskiy gosudarstvennyy universitet, 2025. P. 810–813. EDN UIXCNQ. (In Russ.).
 3. Nazarov NN, Nekrasova IV. The quality of distributing liquid forms of mineral fertilizers over the treated surface. Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki. 2025;55(5):106–114. DOI: 10.26898/0370-8799-2025-5-10. EDN OWUVRH. (In Russ.).
 4. Radnaev DN, Zimina OG. Justification of rational parameters of the coulter for sowing grain crops with fertilizer application below the seed level. Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik. 2021;(3):106–115. DOI: 10.24412/1999-6837-2021-3-106-115. EDN UYLWOY. (In Russ.).
 5. Koleboshina TG, Fomin SD, Ryabchikova NB, Verbitskaya OG. Comparative assessment of various types of fertilizers and their application methods when growing melon crops in Volgograd Trans-Volga region. Izvestiya NV AUK. 2020;(3). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sravnitelnaya-otsenka-razlichnyh-vidov-udobreniy-i-sposobov-ih-primeneniya-pri-vyrashchivanii-bahchevyh-kultur-v-usloviyah>. [Accessed August 27 2026]. (In Russ.).
 6. Buksman VE, Milyutkin VA, Perfilov AA, et al. Improving the design of working parts and units for subsoil application of mineral fertilizers. Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018;(2):127–130. EDN XNAHEL. (In Russ.).
 7. GOST 28714-2007. Mashiny dlya vneseniya tverdykh mineral'nykh udobreniy. Metody ispytaniy = GOST 28714-2007. Machines for applying solid mineral fertilizers. Test Methods. Moscow: Standartinform Publishing; 2007. (In Russ.).
 8. Lyuty AV, Marchenko VO, Podolskaya EE. Method for approximating data from test results of mineral fertilizer spreaders. Nauka i Obrazovaniye. 2020;1(4):54. EDN XDNLEZ. (In Russ.).
 9. Skorlyakov VI, Lyuty AV. Resource-saving method for assessing the performance quality of centrifugal mineral fertilizer spreaders. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2020;(1):18–22. DOI: 10.33267/2072-9642-2020-1-18-22. EDN FINLRB. (In Russ.).
 10. Zheshko AA. Kriteriy otsenki poter' ot neravnomernogo vneseniya udobreniy = Criterion for assessing losses from uneven fertilizer application. In: Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva: mezhvedomstvennyy tematicheskiy sbornik = Mechanization and electrification of agriculture: interdepartmental thematic collection. Minsk: Belarusian Science Publishing; 2025. P. 174–180. EDN VCHKEG. (In Russ.).
 11. Panov AI, Aldoshin NV, Manokhina AA, Semin VV. Assessment of the application rates of liquid manure sub-soil injection. Agroinzheneriya. 2023;25(2):28–33. DOI: 10.26897/2687-1149-2023-2-28-33. EDN KDAHAI. (In Russ.).
 12. Nitrogen in autumn fields. APK Ekspert. October 21, 2020. URL: <https://sdexpert.ru/news/project/azot-v-osennikh-polyakh/>. [Accessed August 27, 2026]. (In Russ.).

Информация об авторах

Сидоров Олег Олегович, аспирант кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», ул. Машиностроителей, д. 15, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 424020

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9829-4368>

e-mail: oleg.sidorov23@yandex.ru

Юнусов Губейдулла Сибятуллович, доктор технических наук, профессор кафедры агроинженерии и технологии производства, переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», ул. Машиностроителей, д. 15, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 424020

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2127-6439>

e-mail: 270144@mail.ru

Information about the authors

Sidorov Oleg Olegovich, postgraduate student at the department of Agroengineering and Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Mari State University, 15 Mashinostroiteley Street, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424020, the Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9829-4368>

e-mail: oleg.sidorov23@yandex.ru

Yunusov Gubeidulla Sibyatulloovich, doctor of technical sciences, professor at the department of Agroengineering and Technology of Production and Processing of Agricultural Products, Mari State University, 15, Mashinostroiteley Street, Yoshkar-Ola, Republic of Mari El, 424020, the Russian Federation

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2127-6439>

e-mail: 270144@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interest: the authors declared that there was no conflict of interest

Статья / The article

поступила в редакцию / was received

07.08.2026

одобрена после рецензирования / approved after reviewing

17.08.2026

принята к публикации / accepted for publication

28.08.2026