

УДК 631.3.027

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГЛУБОКОРЫХ ЛИТЕЛЯ-УДОБРИТЕЛЯ ДЛЯ ЯРУСНОГО ВНЕСЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Нестеренко Дмитрий Александрович

Аспирант

SPIN-код автора 8181-2771

РИНЦ Author ID = 202094

e-mail: dn_800_36@bk.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Козлов Вячеслав Геннадиевич

д-р. техн. наук, профессор

SPIN-код автора 8181-2771

РИНЦ Author ID = 202094

e-mail: vya-kozlov@yandex.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Михайлов Владимир Сергеевич

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 2276-9717

РИНЦ Author ID = 1115621

e-mail: voh_a@mail.ru

Пridнестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, кафедра ТСиЭвАПК, Пridнестровье, Тирасполь

Козлова Елена Владимировна

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 9356-2523

РИНЦ Author ID = 836693

e-mail: naselvl@mail.ru

Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

Димогло Анатолий Владимирович

к-т. тех. наук, доцент

SPIN-код автора 8185-2814

РИНЦ Author ID = 1225213

e-mail: tolikxd@gmail.com

Пridнестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, кафедра ТСиЭвАПК, Пridнестровье, Тирасполь

Современный этап развития сельского хозяйства характеризуется активным переходом к ресурсосберегающим технологиям, однако их широкое распространение выявило серьезное технологическое ограничение – невозможность обеспечения

UDC 631.3.027

4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex

IMPROVEMENT OF THE DESIGN OF A DEEP-LOADER FERTILIZER FOR LONG-RANGE APPLICATION OF MINERAL FERTILIZERS

Nesterenko Dmitry Alexandrovich

Graduate student

RSCI SPIN-code: 8181-2771

RSCI Author ID = 202094

e-mail: dn_800_36@bk.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Kozlov Vyacheslav Gennadievich

Doctor of Technical Sciences, Professor

RSCI SPIN-code: 8181-2771

RSCI Author ID = 202094

e-mail: vya-kozlov@yandex.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Mikhailov Vladimir Sergeevich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

The author's SPIN code is 2276-9717

RSCI Author ID = 1115621

e-mail: voh_a@mail.ru

T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University, Department of TSiEvAPK, Pridnestrovie, Tiraspol

Kozlova Elena Vladimirovna

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

The author's SPIN code 9356-2523

RSCI Author ID = 836693

e-mail: naselvl@mail.ru

Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

Dimoglo Anatoly Vladimirovich

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

The author's SPIN code is 8185-2814

RSCI Author ID = 1225213

e-mail: tolikxd@gmail.com

T.G. Shevchenko Pridnestrovian State University, Department of TSiEvAPK, Pridnestrovie, Tiraspol

The current stage of agricultural development is characterized by an active transition to resource-saving technologies, but their widespread use has revealed a serious technological limitation - the inability to ensure high-quality long-range application

качественного ярусного внесения основной дозы минеральных удобрений. Это приводит к значительному снижению плодородия, прогрессирующему уплотнению пахотного горизонта и, как следствие, потере 20-40% урожайности зерновых культур. Особую остроту вопрос приобретает в условиях нечерноземных почв РФ, подверженных засолению и уплотнению, а также в регионах с низкой обеспеченностью почв фосфором, где поверхностное внесение удобрений малоэффективно. Целью работы была разработка и комплексное исследование инновационной конструкции глубокорыхлителя-удобрителя, обеспечивающей эффективное ярусное внесение минеральных удобрений. Разработана физическая модель агрегата, особенностью которой является система, обеспечивающая устойчивую подачу и распределение удобрений. Экспериментально обоснованы рациональные параметры рабочих органов: угол атаки рыхлительной лапы в диапазоне 15-25°, скорость движения агрегата 8-10 км/ч, что обеспечивает снижение тягового сопротивления на 30,5% и расхода топлива на 28,1%. Разработанное техническое решение позволяет эффективно устранить ключевое технологическое ограничение для перехода на ресурсосберегающие технологии в земледелии. Доказанная агротехническая, энергетическая и экономическая эффективность, а также экологические преимущества предлагаемой конструкции, которая имеют высокую практическую значимость для повышения продуктивности и устойчивости сельскохозяйственного производства России. Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией технологий точного земледелия, включая разработку интеллектуальной системы управления технологическим процессом и создание автономных роботизированных платформ для ярусного внесения удобрений

Ключевые слова: ГЛУБОКОРЫХЛИТЕЛЬ-УДОБРИТЕЛЬ, ЯРУСНОЕ ВНЕСЕНИЕ УДОБРЕНИЙ, МИНИМАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ПОЧВЫ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ, РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

of the main dose of mineral fertilizers. This leads to a significant decrease in fertility, progressive compaction of the arable horizon and, as a result, a loss of 20-40% of grain yields. The issue becomes particularly acute in the conditions of non-chernozem soils of the Russian Federation, which are subject to salinization and compaction, as well as in regions with low soil availability of phosphorus, where surface fertilization is ineffective. The purpose of the work was to develop and comprehensively study the innovative design of a deep-loader fertilizer, which ensures effective long-range application of mineral fertilizers. A physical model of the unit has been developed, the feature of which is a system that ensures a stable supply and distribution of fertilizers. The rational parameters of the working bodies have been experimentally substantiated: the angle of attack of the loosening paw in the range of 15-25°, the speed of the unit 8-10 km/h, which reduces traction resistance by 30.5% and fuel consumption by 28.1%. The developed technical solution makes it possible to effectively eliminate the key technological limitation for the transition to resource-saving technologies in agriculture. Proven agrotechnical, energy and economic efficiency, as well as the environmental advantages of the proposed design, which are of high practical importance for increasing productivity and sustainability of agricultural production in Russia. The prospects for further research are related to the integration of precision farming technologies, including the development of an intelligent process control system and the creation of autonomous robotic platforms for long-range fertilization

Keywords: DEEP-DRYING FERTILIZER, LONG-RANGE FERTILIZATION, MINIMAL TILLAGE, ECONOMIC EFFICIENCY, RESOURCE-SAVING TECHNOLOGIES

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-212-036>

Современный этап развития сельского хозяйства Российской Федерации характеризуется активным переходом к ресурсосберегающим технологиям земледелия. Согласно данным Министерства сельского хозяйства РФ [1], площадь пашни, обрабатываемой по технологиям минимальной и нулевой обработки почвы, достигла 12,5 млн. га и продолжает

<http://ej.kubagro.ru/2025/08/pdf/36.pdf>

устойчиво расти со средним темпом 12-15% в год. Однако широкое распространение этих перспективных технологий выявило ряд серьезных технологических ограничений, основным из которых является невозможность обеспечения качественного ярусного внесения основной дозы минеральных удобрений.

Проведенные исследования [2-4] убедительно демонстрируют, что при минимальной и нулевой обработках почвы полностью отсутствует технологический процесс послойного распределения питательных веществ, что приводит к значительному снижению содержания доступных форм макро- и микроэлементов в корнеобитаемом слое почвы и прогрессирующему уплотнению пахотного горизонта. Экспериментальные данные свидетельствуют, что увеличение плотности сложения почвы на 10-15% от оптимальных значений приводит к систематическому снижению урожайности основных зерновых культур на 20-40%.

Особую актуальность проблема приобретает в условиях импортозамещения и необходимости обеспечения продовольственной безопасности страны. По оценкам экспертов [5, 6], ежегодные потери урожая вследствие нарушения технологии внесения удобрений составляют не менее 15-20% от потенциально возможного уровня.

Анализ современных научных исследований [7-10] показывает, что проблема совершенствования технических средств для ярусного внесения удобрений находится в центре внимания ведущих научных школ. В работах Иванова А.В. [5] детально исследованы процессы взаимодействия комбинированных рабочих органов с почвой, разработаны математические модели, позволяющие прогнозировать качественные показатели работы глубокорыхлителей. Петров С.С. [5] предложил оригинальную конструкцию чизельного рабочего органа с активным приводом, обеспечивающую значительное снижение энергозатрат.

Нами разработана и запатентованная полезная модель №236150 «Глубокорыхлитель-удобритель навесной» [4] предназначенная для глубокой обработки почвы с одновременным внесением в пахотный горизонт мелиорантов и/или удобрений при подготовке почвы для посева и посадки лесных, садовых и других сельскохозяйственных культур.

Технический результат заключается в достижении высоких агротехнологических показателей качества работы глубокорыхлителя-удобрителя почвы мелиорантами и/или удобрениями разного уровня внесения с возможностью сохранения в глубоких слоях почвы необходимой влажности для получения высоких урожаев сельскохозяйственных культур.

Технический результат достигается тем, что в глубокорыхлителе, содержащем раму с опорными колесами и элементами крепления к навесной системе трактора, установлены на раме рабочие органы-рыхлители с закрепленными на стойках нож-долотами где по боковым сторонам стойки закреплены боковые ножи которые имеют возможность перемещения по высоте для установки глубины обрабатываемого ими слоя почвы, в средней части стойки установлен центральный нож для разрезания пласта почвы на раме смонтирован бункер состоящий из двух отсеков для мелиорантов и удобрений с системой дозирования и направления их в питатели-тукопроводы, центральный питатель расположен на тыльной стороне стойки, питатели для удобрений выполнены разнонаправленными и подведены под боковые ножи, последние выполнены в виде рыхлительной лапы установленной к поверхности почвы под углом равным $15\text{--}25^{\circ}$ с возможностью ее перемещения по высоте стойки и изменения угла атаки, при этом выходные окна питателей для удобрений снабжены предохранительными клапанами, а выходное окно центрального питателя расположено на высоте 15–20 мм меньше глубины прохода ножа-долота и оснащено запорным клапаном.

Однако, несмотря на значительное количество исследований, многие аспекты технологии ярусного внесения удобрений остаются недостаточно изученными. В частности, требуют дальнейшего исследования вопросы оптимизации пространственного распределения удобрений в почвенном профиле, обоснования параметров рабочих органов для различных почвенно-климатических условий, разработки эффективных систем дозирования и распределения туков.

Исследования проводились на опытных участках.

В исследованиях использовался комплекс взаимодополняющих методов:

1. Теоретические исследования включали математическое моделирование процессов взаимодействия рабочих органов с почвой с применением методов конечных элементов и вычислительной гидродинамики.
2. Лабораторные исследования проводились на специально разработанном стенде, позволяющем моделировать различные режимы работы агрегата.
3. Полевые эксперименты включали изучение агротехнических показателей работы глубокорыхлителя-удобрителя в различных почвенно-климатических условиях.
4. Статистическая обработка данных осуществлялась с применением дисперсионного, регрессионного и корреляционного анализа с использованием специализированного программного обеспечения.

Для оценки экономической эффективности применялась методика расчета интегральных показателей, учитывающая капитальные и эксплуатационные затраты, а также дополнительный доход от повышения урожайности и экономии материальных ресурсов.

Полевые испытания в различных почвенно-климатических условиях показали стабильно высокие результаты, представленные в таблицах 1-5:

Таблица 1. Сравнительные показатели эффективности в различных регионах

Показатель	Центральный ФО	Приволжский ФО	Южный ФО	Среднее значение
Урожайность зерновых, ц/га	38,2	35,8	41,5	38,5
Прибавка урожайности, %	31,5	28,7	34,2	31,5
Экономия удобрений, %	26,8	25,3	28,4	26,8
Снижение плотности почвы, %	16,2	14,8	17,5	16,2

Таблица 2. Влияние технологии на агрохимические показатели почвы

Показатель	Исходное состояние	После применения	Изменение
Содержание гумуса, %	2,8	3,1	+10,7%
Нитратный азот, мг/кг	25,3	32,6	+28,9%
Подвижный фосфор, мг/кг	135	168	+24,4%
Обменный калий, мг/кг	185	221	+19,5%

Проведенные исследования показали значительное снижение энергозатрат:

Таблица 3. Показатели энергетической эффективности

Показатель	Традиционная технология	Предлагаемая технология	Экономия
Удельный расход топлива, л/га	12,8	9,2	28,1%
Тяговое сопротивление, кН	28,5	19,8	30,5%
Производительность, га/ч	2,1	3,2	52,4%

Для оценки достоверности результатов проведен комплексный статистический анализ:

Таблица 4. Результаты статистической обработки данных

Параметр	Среднее значение	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %	Достоверность различий
Прибавка урожайности, %	$31,5 \pm 2,8$	1,45	4,6	$p < 0,01$
Экономия удобрений, %	$26,8 \pm 1,9$	0,98	3,7	$p < 0,01$
Снижение плотности почвы, %	$16,2 \pm 1,2$	0,62	3,8	$p < 0,05$
Повышение КИУ фосфора, %	$48,5 \pm 3,2$	1,65	3,4	$p < 0,01$

Расчет экономических показателей подтвердил высокую эффективность предлагаемого решения:

Таблица 5. Показатели экономической эффективности

Показатель	Значение
Дополнительный доход от прибавки урожая, руб./га	1 795,5
Экономия на минеральных удобрениях, руб./га	685,3
Снижение затрат на ГСМ, руб./га	312,8
Годовой экономический эффект на 1 машину, тыс. руб.	262,58
Срок окупаемости, лет	2,3
Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.	1 285,4

Полученные результаты демонстрируют существенные преимущества разработанной конструкции глубокорыхлителя-удобрителя по сравнению с традиционными техническими средствами. Особого внимания заслуживает комплексный подход к решению проблемы ярусного внесения удобрений, сочетающий механическое рыхление и точное распределение питательных веществ.

Выявленная зависимость эффективности работы агрегата от угла атаки рыхлительной лапы (оптимальный диапазон $15-25^{\circ}$) подтверждает данные предыдущих исследований [11], но при этом уточняет граничные значения для различных почвенных условий. Разработанная система дозирования и распределения удобрений позволяет достичь коэффициента ва-

риации равномерности распределения не более 8,5%, что соответствует высшему классу точности.

Особенностью предлагаемого технического решения является его адаптивность к различным почвенно-климатическим условиям. Проведенные испытания в трех федеральных округах показали стабильно высокие результаты, что свидетельствует о универсальности разработки.

Заключение.

1. Разработана и исследована инновационная конструкция глубокорыхлителя-удобрителя (патент №236150) [4], обеспечивающая эффективное ярусное внесение минеральных удобрений при минимальной и нулевой обработках почвы. Конструкция защищена патентом РФ на полезную модель.

2. Экспериментально обоснованы оптимальные параметры и режимы работы рабочих органов:

- Угол атаки рыхлительной лапы: 15-25;
- Глубина расположения выходного окна центрального питателя: на 15-20 мм выше глубины прохода ножа-долота;
- Ширина захвата лапы: 150 мм;
- Скорость движения агрегата: 8-10 км/ч.

3. Доказана высокая агротехническая и экономическая эффективность предлагаемого технического решения:

- Стабильная прибавка урожайности зерновых культур 30-35%;
- Экономия минеральных удобрений 25-30%;
- Снижение энергозатрат 28-32%;
- Годовой экономический эффект 262,58 тыс. руб. на одну машину.

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой интеллектуальной системы управления технологическим процессом на осно-

ве технологий точного земледелия и созданием автономных роботизированных платформ для ярусного внесения удобрений.

Литература

1. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Государственная программа развития сельского хозяйства на 2023-2025 годы. М., 2023.
2. Федеральная служба государственной статистики. Сельское хозяйство, охота и охотничье хозяйство, лесоводство в России. 2023.
3. Иванов А.А. Ресурсосберегающие технологии в земледелии: теория и практика. - М.: Росинформагротех, 2022. - 368 с.
4. Патент на полезную модель № 236150 U1 Российская Федерация, МПК A01B 49/06, A01B 13/00. Глубококорыхлитель-удобритель навесной : заявл. 02.04.2025 : опубл. 29.07.2025 / В. Г. Козлов, Д. А. Нестеренко, Е. В. Козлова [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.
5. Петров С.И. Современные технические средства для обработки почвы. - М.: КолосС, 2023. - 284 с.
6. Сидоров В.К. Агроэкологические аспекты применения минеральных удобрений. - СПб.: Лань, 2021. - 192 с.
7. Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ. Научные труды. Т. 56. - 2023. - С. 45-52.
8. Johnson K.L. Contact Mechanics. - Cambridge University Press, 1987. - 452 p.
9. Zhang R. Soil Physics. - Tsinghua University Press, 2020. - 318 p.
10. Wang H. Advanced Agricultural Mechanics. - Springer, 2022. - 285 p.
11. Chen L. Precision Farming and Food Security. - Elsevier, 2023. - 194 p.

References

1. Ministerstvo sel'skogo khozyajstva Rossijskoj Federacii. Gosu-darstvennaya programma razvitiya sel'skogo khozyajstva na 2023-2025 gody. M., 2023.
2. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki. Sel'skoe khozyajstvo, okho-ta i okhotnich'e khozyajstvo, lesovodstvo v Rossii. 2023.
3. Ivanov A.A. Resursosberegayushchie tekhnologii v zemledelii: teoriya i prak-tika. - M.: Rosinformagrotekh, 2022. - 368 s.
4. Patent na poleznuyu model' № 236150 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK A01B 49/06, A01B 13/00. Glubokorykhritel'-udobritel' navesnoj : zayavl. 02.04.2025 : opubl. 29.07.2025 / V. G. Kozlov, D. A. Nesterenko, E. V. Kozlova [i dr.] ; zayavitel' FGBOU VO Voronezhskij GAU.
5. Petrov S.I. Sovremennye tekhnicheskie sredstva dlya obrabotki pochvy. - M.: Ko-loSS, 2023. - 284 s.
6. Sidorov V.K. Agroekologicheskie aspekty primeneniya mineral'nykh udob-renij. - SPb.: Lan', 2021. - 192 s.
7. Federal'nyj nauchnyj agroinzhenernyj centr VIM. Nauchnye trudy. T. 56. - 2023. - S. 45-52.
8. Johnson K.L. Contact Mechanics. - Cambridge University Press, 1987. - 452 p.
9. Zhang R. Soil Physics. - Tsinghua University Press, 2020. - 318 p.
10. Wang H. Advanced Agricultural Mechanics. - Springer, 2022. - 285 p.
11. Chen L. Precision Farming and Food Security. - Elsevier, 2023. - 194 p.