

Результаты исследования многофункционального почвообрабатывающего агрегата с комплектом сменных адаптеров

© 2025. С. А. Дёмшин[✉], Д. А. Зырянов, Д. И. Тимшин

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока разработана базовая модель почвообрабатывающего агрегата со сменными рабочими органами в виде плоскорезных или культиваторных лап, комбинация которых с дисковыми секциями позволяет качественно с соблюдением основных агротехнических требований выполнять основную безотвальную обработку почвы на 14–25 см и комплекс операций предпосевной обработки почвы на 5–14 см. Дальнейшее развитие конструкции агрегата направлено на повышение качества обработки поверхностного слоя почвы посредством оснащения базовой модели сменными адаптерами для дополнительной обработки почвы. Первоначально для исследований изготовлен комплект сменных адаптеров, включающий следующие виды прикатывающих катков: трубчатый, спирально-трубчатый, прутковый и планчато-зубовой. Цель исследований – оценка эффективности использования агрегата со сменными адаптерами для обработки поверхностного слоя почвы при выполнении основной безотвальной и мелкой почвообработки. Исследования проведены в виде полевых испытаний, в ходе которых определены основные показатели качества обработки почвы: фракционный состав почвы; плотность; стабильность глубины обработки; гребнистость поверхности. Выявлено, что при выполнении агрегатом основной безотвальной обработки легкосуглинистой почвы степень её крошения в зависимости от типа адаптера составила 82,7...95,3 %, при проведении мелкой обработки – содержание фракции почвы менее 25 мм – 82,5...89,7 %, что полностью соответствует агротехническим требованиям. Показатели глубины при выполнении основной и мелкой обработки свидетельствуют о достаточно высокой стабильности глубины хода рабочих органов. Агротехническая оценка при выполнении основной обработки почвы показала, что гребнистость поверхности при зяблевой обработке чистого пара составила 30...36 мм, при обработке стерни зерновых – 46 мм. В вариантах комплектации агрегата рабочими органами для мелкой обработки данный показатель варьирует в пределах 20...28 мм. Плотность почвы после основной безотвальной обработки равна 1,22...1,31 г/см³, после мелкой обработки – 1,16...1,24 г/см³. Полученные данные свидетельствуют о том, что работа агрегата во всех вариантах комплектации соответствует агротехническим требованиям на проведение предпосевной и зяблевой обработки почвы.

Ключевые слова: основная безотвальная обработка почвы, мелкая обработка почвы, лапа плоскорезная, дисковая секция, лапа стрельчатая, каток прикатывающий, показатели качества обработки почвы

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дёмшин С. А., Зырянов Д. А., Тимшин Д. И. Результаты исследования многофункционального почвообрабатывающего агрегата с комплектом сменных адаптеров. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):415–425. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.415-425>

Поступила: 12.03.2025

Принята к публикации: 22.04.2025

Опубликована онлайн: 29.04.2025

The results of study of a multifunctional tillage unit with a set of replaceable adapters

© 2025. Sergey L. Demshin[✉], Dmitry A. Zyryanov, Daniil Ig. Timshin

Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,
Kirov, Russian Federation

Federal Agricultural Research Center of the North-East has developed a basic model of a tillage unit with replaceable working bodies in the form of flat-cutting hoes or duckfoot shovels, the combination of which with disk sections allows in compliance with basic agrotechnical requirements to perform primary non-moldboard tillage of 14–25 cm and a complex of operations of pre-sowing soil cultivation operations of 5–14 cm. Further development of the unit design is aimed at improving the quality of processing the surface layer of soil by equipping the basic model with replaceable adapters for additional soil processing. Initially, a set of replaceable adapters was manufactured for the research, including the following types of rollers: tubular, spiral-tubular, rod and bar-tooth. The purpose of the research was to evaluate the effectiveness of using a unit with replaceable adapters for processing the surface layer of soil during basic non-moldboard and shallow tillage. The research was conducted in the form of field tests, during which the main indicators of the quality of soil cultivation were determined: fractional composition of the soil, density, stability of the depth of cultivation and surface ridge. It was revealed that when the unit performed the basic non-moldboard tillage of light loamy soil, the degree of its crumbling, depending on the type of adapter, was 82.7...95.3 %, when performing shallow tillage, the content of the soil fraction less than 25 mm was 82.5...89.7 %, which fully met the agrotechnical requirements. The parameters of processing depth during basic non-moldboard and shallow tillage indicated a sufficiently high stability of the depth of the working body travel. Agrotechnical assessment during primary soil cultivation showed that the surface ridge during autumn cultivation of clean fallow was 30...36 mm, and during cultivation of

grain stubble – 46 mm. In the variants of the unit equipped with working bodies for shallow tillage, this indicator varied within the range of 20...28 mm. The soil density after basic non-moldboard tillage was 1.22...1.31 g/cm³, after shallow tillage – 1.16...1.24 g/cm³. The obtained data indicate that the operation of the unit in all configuration options meets the agrotechnical requirements for pre-sowing and autumn tillage.

Keywords: basic non-moldboard tillage, shallow tillage, flat-cutting hoe, disk section, duckfoot shovel, roller, indicators of tillage quality

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme № FNWE-2022-0002).

The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

Conflict of interests: the authors stated that there was no conflict of interests.

For citations: Demshin S. L., Zyryanov D. A., Timshin D. Ig. The results of the study of a multifunctional tillage unit with a set of replaceable adapters. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(2):415–425. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.415-425>

Received: 12.03.2025

Accepted for publication: 22.04.2025

Published online: 29.04.2025

Разработка и исследование многофункциональной почвообрабатывающей техники со сменными рабочими органами, основным преимуществом которой является возможность быстрого переоборудования машин путем варьирования различных комбинаций рабочих органов для более полного соответствия агротехнологическим условиям эксплуатации, в настоящее время становится более актуальной в связи с тенденциями внедрения технологий искусственного интеллекта (ИИ) в сельское хозяйство¹ [1, 2, 3]. Учитывая то, что для технологий обработки почвы, посева и уборки возделываемых культур в полеводстве основным трендом является замена посредством возможностей ИИ операторов тяговых средств и вспомогательного персонала, можно прогнозировать дальнейший отказ от тракторов классического вида, компоновочная схема которых включает место оператора^{2,3} [4]. С учётом максимального отказа от ручного труда возможны различные варианты роботизированных почвообрабатывающих и посевных машинно-тракторных агрегатов (МТА) – от широкозахватных агрегатов, автоматически трансформируемых до допустимой ширины при переходе в транспортное положение, до малогабаритных, относительно недорогих машин с небольшой шириной захвата. Для второго случая перспективно оснащение МТА комплектами сменных рабочих органов в навесном варианте, способных выполнять завершённый цикл операций по подготовке почвы и посеву, которые наиболее

просто могут быть адаптированы к условиям эксплуатации вследствие малой трудоёмкости переоборудования и возможности его проведения в полевых условиях, а их эксплуатация не столь требовательна к состоянию сельскохозяйственных угодий, дорожной сети, погодным условиям и т. д. В качестве рабочих органов для данных машин наиболее подходят комплекты сменных рабочих органов многофункциональных почвообрабатывающих агрегатов, преимущественно для навесного способа агрегатирования, эффективность работы соответствующих комбинаций которых уже подтверждена на практике⁴ [5]. Пока линейка беспилотных тяговых средств не оформлена до широкого производственного применения рационально использовать существующие разработки многофункциональных почвообрабатывающе-посевных агрегатов со сменными рабочими органами как платформы для исследований эффективности функционирования их различных комбинаций. Одной из них можно считать базовую модель почвообрабатывающего агрегата со сменными рабочими органами в виде плоскорезных или культиваторных лап, комбинация которых с дисковыми секциями позволяет качественно выполнять основную обработку почвы до 25 см и комплекс операций предпосевной обработки почвы до 14 см, что дает возможным совместить доработку агрегата для узкоспециализированных операций с исследованием взаимодействия комбинаций почвообрабатывающих рабочих органов [6].

¹Точное сельское хозяйство: учебник. Под ред. Е. В. Труфляка. СПб: Лань, 2021. 512 с.

²Бойко А. Роботизированные трактора. Каталог. RoboTrends.

URL: <https://robotrends.ru/robopedia/robotizirovannye-traktora> (дата обращения: 23.12.2024).

³Бойко А. Каталог автономных сельскохозяйственных роботов для работы в поле, в саду или теплице. RoboTrends.

URL: <https://robotrends.ru/robopedia/katalog-avtonomnyh-robotov-dlya-raboty-v-selskom-hozyaystve>

(дата обращения: 23.12.2024).

⁴Болотина М. Н., Мишуров Н. П., Федоренко В. Ф., Голубев И. Г., Алдошин Н. В. Сельскохозяйственная техника. Машины для обработки почвы: каталог. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 208 с.

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49459943>

Цель исследования – разработать опытные образцы сменных адаптеров для многофункционального почвообрабатывающего агрегата и оценить эффективность использования агрегата со сменными адаптерами при выполнении основной безотвальной и мелкой обработки почвы.

Научная новизна – в процессе исследований многофункционального почвообрабатывающего агрегата со сменными адаптерами получены данные, подтверждающие эффективность их использования в его составе, а также изучены возможности совместной работы различных комбинаций почвообрабатывающих рабочих органов.

Материал и методы. Ранее согласно предложенной конструктивно-технологической схеме разработана базовая модель многофункционального агрегата МПА-2,0/3,0 со сменными почвообрабатывающими органами [7]. Под базовой моделью рассматривался агрегат, оснащённый основными комплектами рабочих органов: плоскорежущими лапами или стрельчатыми культиваторными лапами и дисковыми секциями, которые позволяют выполнять основную безотвальную обработку почвы и комплекс операций мелкой обработки почвы на уровне агротехнических требований. Представляет собой навесную машину и состоит из рамы, на которой расположены опорные колёса с механизмом регулировки глубины обработки, два сменных комплекта основных рабочих органов: три плоскорежущих лапы или одиннадцать культиваторных лап, и две дисковых секции.

Комплекс возможных регулировок рабочих органов агрегата в совокупности с двумя комплектами основных рабочих органов в виде плоскорежущих и культиваторных лап позволяет базовой модели агрегата эффективно осуществлять операции основной безотвальной, мелкой и поверхностной обработки почвы. При этом изначально на её базе планировалось использовать в качестве основы для формирования специализированных вари-

антов агрегата, максимально адаптированных к условиям производства путём оснащения сменными адаптерами для финишной почвообработки. Результаты испытаний показали, что основными задачами адаптеров являются: для основной безотвальной обработки – повышение степени крошения верхнего слоя почвы и качества мульчирующего слоя, снижение гребнистости; для мелкой обработки – повышение качества рыхления почвы и прикатывания поверхностного слоя.

При выборе состава комплекта сменных адаптеров для финишной обработки почвы проводили анализ перспективных конструкций рабочих органов для поверхностной обработки почвы⁵ [8, 9, 10, 11]. Из большого количества вариаций различных конструкций борон и катков, присутствующих на рынке с.-х. техники, выбраны несколько вариантов катков для использования в качестве сменных адаптеров – трубчатый, спирально-трубчатый, прутковый и планчато-зубовой. В качестве планчато-зубового катка использовали каток культиватора КБМ-8 шириной захвата 2,0 метра, оборудованный кронштейнами для крепления на рамке адаптеров. Общие виды катков и технические характеристики агрегата в комплектации с ними представлены на рисунке 1 и в таблице 1.

Оценку эффективности применения многофункционального агрегата с двумя видами сменных рабочих органов и изготовленного комплекта адаптеров (катков) для обработки верхнего слоя почвы (рис. 2) выполняли в ходе полевых исследований посредством определения основных агротехнических показателей качества основной безотвальной и мелкой почвообработки, таких как процентное содержание фракций почвы, её плотность, величина гребнистости поля и показатели неравномерности глубины обработки, значения которых определены в соответствии с ГОСТ 33736-2016⁶, ГОСТ 33687-2015⁷. Эффективность работы агрегата определяли путем сравнения полученных данных с агротехническими требованиями СТО АИСТ 4.6–2018⁸.

⁵Каток Rollex 450-620 фирмы «Vaderstad». Vaderstad.

URL: <https://www.vaderstad.com/ru/obrabotka-pochvy/katki/rollex/> (дата обращения: 18.01.2025).

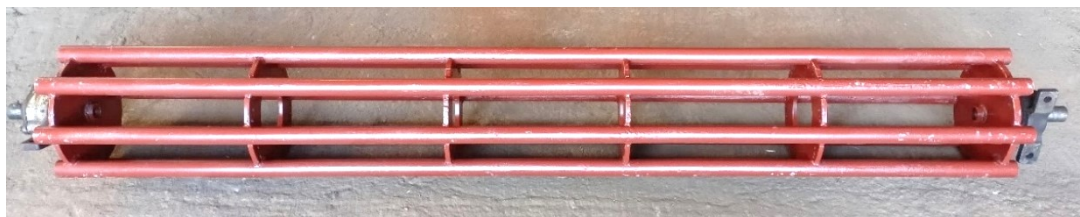
⁶ГОСТ 33736-2016. Техника сельскохозяйственная. Машины для глубокой обработки почвы. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2017. 39 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293746/4293746702.pdf>

⁷ГОСТ 33687-2015. Машины и орудия для поверхностной обработки почвы. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2016. 46 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293753/4293753893.pdf>

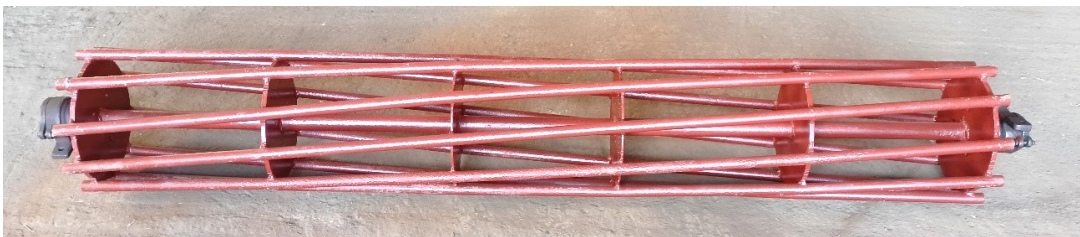
⁸СТО АИСТ 4.6–2018. Испытания сельскохозяйственной техники. Машины почвообрабатывающие. Показатели назначения и надежности. Общие требования. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2018. 34 с.

URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/404/40484bfe1c30aa632ff203f685053d89.pdf>

а / а



б / b



в / c



г / d



Рис. 1. Сменные адаптеры (катки) для обработки верхнего слоя почвы: а – трубчатый; б – спирально-трубчатый; в – прутковый; г – планчато-зубовый /

Fig. 1. Replaceable adapters (rollers) for processing the top layer of soil: a – tubular; b – spiral-tubular; c – rod; d – bar-tooth

Полевые исследования МТА в составе трактора МТЗ-82 и агрегата МПА-2,2/3,0 проводили на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Масса противовесов, установленных на трактор – 235 кг. В ходе основной безотвальной почвообработки многофункциональным агрегатом с различными видами адаптеров выполняли зяблевую обработку чистого пара. Показатели условий проведения эксперимента определены в соответствии с ГОСТ 20915-2011⁹: состав почвы – дерново-подзолистая легкосуглинистая; рельеф – ровный; влажность почвы в слое до 20 см – 14,7 %; твёрдость в слое до 10 см – 0,81 МПа, 10–20 см – 2,21 МПа,

20–30 см – 2,75 МПа. Средняя высота сорных растений 18,3 см. Испытания агрегата на основной безотвальной обработке стерни яровой пшеницы под зябь проводили только с прутковым катком. Условия проведения: почва дерново-подзолистая тяжелый суглинок, влажность почвы 18,8 %, твёрдость в слое до 10 см – 2,19 МПа, 10–20 см – 3,97 МПа. Средняя высота стерни 12,1 см. Установочная глубина обработки почвы для первого опыта составляла 22 см, скорость движения МТА – 7,2 км/ч (3 передача), для второго опыта – 20 см и 6,7 км/ч (4 передача) соответственно.

⁹ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 27 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293788/4293788522.pdf>

Таблица 1 – Техническая характеристика агрегата МПА-2,2/3,0 с рабочими органами и адаптерами для основной/мелкой обработки почвы /

Table 1 – Technical characteristics of the MPA-2.2/3.0 unit with working bodies and adapters for basic/shallow tillage

Показатель / Indicator	Сменные адаптеры (катки) / With replaceable adapter (roller)			
	трубчатый / tubular	спирально- трубчатый / spiral-tubular	прутковый / rod	планчато- зубовый / bar-tooth
Производительность за час основного времени, га/ч / Output per hour of basic time, ha/h	До 2,2 (up to 2.2) / До 2,5 (up to 2.5)			
Рабочая скорость, км/ч / Working speed, km/h	6,0...10,5 / 6,0...12,0			
Рабочая ширина, мм / Working width, mm	2180 / 2200			
Глубина обработки, см / Depth of tillage, cm:				
- плоскорезными/культиваторными лапами / by flat-cutting hoe / by duckfoot shovel	14...25 / 5...14			
- дисковыми секциями / by disk sections	До 10 (up to 10)			
- сменным адаптером / by replaceable adapter	3...4	3...4	3...5	4...6
Ширина захвата катка, м / Roller width, m	2,25	2,25	2,2	2,0
Диаметр катка, мм / Roller diameter, mm	360	345	310	250
Число рабочих элементов катка (труб, планок и т. д.), шт. / Number of working elements of the roller (tubs, slats, etc.), pcs.	8	10	12	6
Размер рабочих элементов, мм / Size of the working elements, mm	Ø 40	Ø 27	Ø 16	8 x 50
Масса катка, кг / Roller weight, kg	86	70	68	42
Габаритные размеры, мм / Overall dimensions, mm:				
- длина / length	3060 / 3020	3050 / 3010	3035 / 2195	2950 / 2910
- ширина / width	2530 / 2950	2530 / 2950	2530 / 2950	2530 / 2950
- высота / height	1250 / 1150	1250 / 1150	1250 / 1150	1250 / 1150
Масса, кг / Mass, kg	746 / 805	730 / 785	728 / 783	712 / 767
Удельная металлоёмкость, кг/м / Specific metal intensity, kg/m	342,2 / 365,9	334,9 / 356,8	333,9 / 355,9	326,6 / 348,6
Трудоемкость переоборудования адаптеров, чел.-ч / Labor intensity of adapter conversion, man-hours	Не более 1,0 (no more than 1.0)			

Примечания: в числителе значения для комплектации агрегата для выполнения основной безотвальной обработки почвы, в знаменателе – для мелкой обработки почвы /

Notes: in the numerator the value for assembling the unit for performing basic non-moldboard tillage, in the denominator – for shallow tillage

В процессе мелкой обработки почвы МТА осуществлял культивацию чистого пара. Условия проведения опыта: состав почвы – дерново-подзолистая легкосуглинистая; рельеф – ровный; влажность почвы в слое до 20 см –

14,7 %; твёрдость в слое до 10 см – 0,69 МПа, 10–20 см – 1,36 МПа. Средняя высота сорных растений 15,3 см. Скорость движения МТА – 8,9 км/ч (4 передача). Установочная глубина обработки – 14 см.

а / а



б / б



Рис. 2. Агрегат МПА-2,2/3,0 с рабочими органами: а – для основной обработки и трубчатым катком; б – для мелкой обработки почвы и спирально-трубчатым катком при проведении опытов /

Fig. 2. Unit MPA-2,2/3,0 with working bodies: a – for basic tillage and a tubular roller; b – for shallow tillage and a spiral-tubular roller during the experiments

Результаты и их обсуждение. Качество работы агрегата МПА-2,2/3,0 оценивали по требованиям СТО АИСТ 4.6-2018, согласно которым после проведения основной безотвальной обработки почвы на глубину 15...30 см содержание фракции размером более 50 мм не должно превышать 20 %, отклонение глубины обработки от заданной – $\pm 1,5$ см, гребнистость поверхности – не более 5 см; после проведения обработки почвы комбинированными агрегатами на глубину 5...16 см – содержание фракции более 25 мм не более 30 %, гребнистость – не более 4 см, отклонение глубины обработки от заданной – $\pm 2,0$ см, плотность почвы в пределах оптимальных значений при подготовке под посев зерновых – 1,1...1,3 г/см³.

Результаты полевых испытаний агрегата МПА-2,2/3,0 с рабочими органами и адаптерами для основной и мелкой обработки почвы приведены в таблицах 2, 3, фотографии агрегата при проведении работ – на рисунке 3.

Результаты исследований агрегата МПА-2,2/3,0 с различными видами сменных адаптеров подтвердили, что машина со всеми исследуемыми комбинациями почвообрабатывающих рабочих органов стабильно осуществляет мелкую и основную безотвальную обработки почвы с соблюдением рабочей ширины захвата, за исключением варианта комплектации планчато-зубовым катком культиватора КБМ-8 шириной захвата 2,0 м.

Анализ данных по фракционному составу почвы показал, что при выполнении основной обработки легкосуглинистой почвы степень её крошения, в зависимости от типа адаптера, составила 82,7...95,3 %, что полностью соответствует агротехническим требованиям. При зяблевой обработке тяжелосуглинистой почвы агрегатом с прутковым катком этот показатель равнялся 76,8 % – несколько меньше стандарта, что объясняется сухой переуплотненной почвой высокой твердости.

Таблица 2 – Результаты испытаний агрегата МПА-2,2/3,0 с рабочими органами и адаптерами для основной безотвальной обработки почвы /

Table 2 – Test results of the MPA-2.2/3.0 unit with working bodies and adapters for basic non-moldboard tillage

Показатель / Indicator	Сменные адаптеры (катки) / With replaceable adapter (roller)			
	трубчатый / tubular	спирально- трубчатый / spiral-tubular	прутковый / rod	планчато- зубовый / bar-tooth
Скорость движения, км/ч / Speed of movement, km/h	7,2 / 6,7			
Производительность за час основного времени, га/ч / Output per hour of basic time, ha/h	1,58 / 1,47			
Установочная глубина обработки, см / Installation depth of tillage, cm:				
- плоскорежущими лапами / by flat-cutting hoes	22	22	22 / 20	22
- дисковыми секциями / by disk sections	10	10	10	10
- сменным адаптером / by replaceable adapter	3...4	3...4	3...5	4...6
Равномерность глубины обработки / Uniformity of the depth of tillage:				
- средняя глубина, см / average depth, cm	20,4	21,3	21,0 / 18,1	22,9
- среднеквадратическое отклонение, см / standard deviation, cm	1,49	1,33	1,84 / 1,79	1,53
- коэффициент вариации, % / coefficient of variation, %	7,3	6,3	8,8 / 9,9	6,7
Содержание фракций почвы, % / Content of soil fractions, %:				
- менее 10 мм / less than 10 mm	67,8	60,2	61,0 / -	57,7
- 10...25 мм / 10...25 mm	14,6	13,5	13,9 / -	18,5
- 25...50 мм / 25...50 mm	12,9	9,0	9,2 / -	18,3
- свыше 50 мм / over 50 mm	4,7	17,3	15,8 / 23,2	5,5
Гребнистость поверхности, мм / Surface ridge, mm	32	30	36 / 46	34
Плотность почвы, г/см ³ / Soil density, g/cm ³	1,26	1,23	1,28 / 1,31	1,22

Примечания: числитель – значения для первого опыта, знаменатель – для второго опыта /

Notes: numerator the values are for the first experiment, denominator – for the second experiment

Наиболее высокую степень крошения почвы получили при использовании трубчатого и планчато-зубового катков. При проведении агрегатом мелкой обработки почвы содержание фракции менее 25 мм для всех видов адаптеров в составе агрегата составило 82,5...89,7 %, что существенно больше рекомендуемого СТО АИСТ 4.6-2018 значения. Предварительно для данных условий эксплуатации можно выделить некоторое преимущество применения трубчатого и планчато-зубового катков при дополнительной обработке верхнего слоя почвы.

Полученные значения показателей устойчивости глубины при выполнении основной и мелкой обработки свидетельствуют о достаточно высокой стабильности глубины хода рабочих органов. Практически качество работы

всех исследуемых вариантов комплектации многофункционального агрегата находится в поле допускаемых агротехническими требованиями значений. При мелкой обработке почвы более высокую равномерность глубины демонстрирует трубчатый каток. При основной обработке его работа также стабильна, но величина средней глубины обработки находилась на границе допуска, так как при испытаниях глубина обработки агрегатом настраивалась для одного вида адаптера в виде пруткового катка и в дальнейшем не менялась. При мелкой обработке почвы прослеживалась взаимосвязь повышения стабильности глубины хода основных рабочих органов с увеличением площади контакта уплотняющих элементов катков, при основной обработке такой зависимости не выявлено.

Таблица 3 – Результаты испытаний агрегата МПА-2,2/3,0 со сменными рабочими органами и адаптерами для мелкой обработки почвы /

Table 3 – Test results of the MPA-2.2/3.0 unit with working bodies and replaceable adapters for shallow tillage

Показатель / Indicator	Сменные адаптеры (катки) / With replaceable adapter (roller)			
	трубчатый / tubular	спирально- трубчатый / spiral-tubular	прутковый / rod	планчато- зубовый / bar-tooth
Скорость движения, км/ч / Speed of movement, km/h	8,9			
Производительность за час основного времени, га/ч / Output per hour of basic time, ha/h	1,9			
Установочная глубина обработки, см / Installation depth of tillage, cm:				
- культиваторными лапами / by duckfoot shovels	14	14	14	14
- дисковыми секциями / by disk sections	8	8	8	8
- сменным адаптером / by replaceable adapter	3...4	3...4	3...5	4...6
Равномерность глубины обработки / Uniformity of the depth of tillage:				
- средняя глубина, см / average depth, cm	13,7	13,1	12,1	13,0
- среднеквадратическое отклонение, см / standard deviation, cm	1,54	1,85	2,13	1,97
- коэффициент вариации, % / coefficient of variation, %	11,3	14,1	17,6	15,3
Содержание фракций почвы, % / Content of soil fractions, %:				
- менее 10 мм / less than 10 mm	75,1	76,9	67,4	74,7
- 10...25 мм / 10...25 mm	14,6	11,0	15,1	14,2
- 25...50 мм / 25...50 mm	8,7	12,1	12,4	9,3
- свыше 50 мм / over 50 mm	1,6	0	5,1	3,8
Гребнистость поверхности, мм / Surface ridge, mm	20	24	24	28
Плотность почвы, г/см ³ / Soil density, g/cm ³	1,21	1,24	1,19	1,16

Агротехническая оценка при выполнении основной обработки почвы показала, что гребнистость поверхности при зяблевой обработке чистого пара составила 30...36 мм, при обработке стерни зерновых – 46 мм. В вариантах комплектации агрегата рабочими органами для мелкой обработки данный показатель варьировал в пределах 20...28 мм. Плотность почвы после основной безотвальной обработки составила 1,22...1,31 г/см³, после мелкой – 1,16...1,24 г/см³. Полученные данные свидетельствуют о том, что работа агрегата во всех вариантах комплектации соответствовала требованиям СТО АИСТ 4.6-2018 и удовлетворяла агротехническим требованиям на проведение предпосевной и зяблевой обработки почвы, за исключением функционирования агрегата МПА-2,2/3,0 с прутковым катком при безотвальной обработке стерни зерновых

на участке с тяжелосуглинистой почвой, где значения показателей немного ниже границы допуска.

В целом проведенные исследования многофункционального почвообрабатывающего агрегата со сменными адаптерами в виде катков подтвердили, что их использование в составе агрегата позволяет более качественно проводить основную безотвальную и мелкую обработки почвы. Применение сменных адаптеров в составе агрегата повышает степень крошения (снижение до 10 % содержания фракции почвы более 50 мм), стабилизирует глубину обработки основными комплектами почвообрабатывающих органов, позволяет снизить гребнистость микрорельефа и регулировать величину плотности верхнего слоя почвы посредством варьирования силы поджатия катков.

а / a



б / b



Рис. 3. Агрегат МПА-2,2/3,0 с рабочими органами: а – для основной обработки и прутковым катком; б – для мелкой обработки почвы и планчато-зубчатым катком при проведении опытов

Fig. 3. Unit MPA-2.2/3.0 with working bodies: a – for basic tillage and a rod roller; b – for shallow tillage and a bar-tooth roller during the experiments

Также можно отметить соответствие полученных результатов общепринятой специализации прикатывающих катков [12, 13]. Так, катки с большими диаметрами рабочих элементов (труб) и, как следствие, большей опорной поверхностью более интенсивно крошат комки сухой, относительно рыхлой почвы и меньше погружаются в почву. Результаты их использования при мелкой обработке почвы подтвердили повышение стабильности глубины обработки основных рабочих органов в виде культиваторных лап. Применение планчато-зубового катка также положительно влияет на крошение почвы, в том числе за счет более глубокого погружения в ее поверхностный слой, но при этом несколько снижается стабилизация глубины хода основных рабочих органов, показатели гребнистости и уплотнения почвы.

В заключение необходимо обратить внимание на то, что полученные результаты

функционирования многофункционального агрегата с набором сменных адаптеров проверены в определенных условиях эксплуатации и для выявления полной картины возможностей совместной работы различных комбинаций почвообрабатывающих рабочих органов требуется продолжение исследований в наиболее характерных для региона условиях. При этом нужно принимать во внимание высокую степень изменчивости физико-механических свойств почвы одного и того же участка в зависимости от климатических условий, предшествующих обработок почвы и т. д., что обуславливает рациональность наличия нескольких вариантов комплектации агрегата сменными адаптерами для каждого конкретного случая хозяйственного применения.

Выводы. 1. Для многофункционального почвообрабатывающего агрегата со сменными рабочими органами разработан комплект сменных адаптеров в виде прикатывающих катков

различной конструкции: трубчатый (8 труб Ø40 мм); спирально-трубчатый (10 труб Ø27 мм); прутковый (12 труб Ø16 мм); планчато-зубовой (полоса 8х50 мм).

2. В ходе исследований выявлено, что при выполнении агрегатом основной безотвальной обработки легкосуглинистой почвы степень её крошения в зависимости от типа адаптера равнялась 82,7...95,3 %, при проведении мелкой обработки – содержание фракции почвы менее 25 мм составило 82,5...89,7 %. Показатели глубины обработки при выполнении основной и мелкой обработки свидетельствуют о достаточно высокой стабильности глубины хода рабочих органов. Агротехни-

ческая оценка при выполнении основной обработки почвы показала, что гребнистость поверхности при зяблевой обработке чистого пара составляет 30...36 мм, при обработке стерни зерновых – 46 мм. В вариантах комплектации агрегата рабочими органами для мелкой обработки данный показатель варьировал в пределах 20...28 мм. Плотность почвы после основной безотвальной обработки равна 1,22...1,31 г/см³, после мелкой обработки – 1,16...1,24 г/см³. Полученные данные свидетельствуют о том, что работа агрегата во всех вариантах комплектации соответствует агротехническим требованиям на проведение предпосевной и зяблевой обработки почвы.

Список литературы

1. Гольяпин В. Я., Мишуров Н. П., Федоренко В. Ф., Соловьев С. А., Балабанов В. И., Алдошин Н. В. Инновационные технологии и сельскохозяйственная техника за рубежом. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 172 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44560439> EDN: XJHKQG
2. Shamshiri R. R., Weltzien C., Hameed I. A., Yule I. J., Grift T. E., Balasundram S. K. et al. Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018;11(4):1–14. DOI: <http://dx.doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.4278>
3. Загазежева О. З., Край К. Ф. Проблемы и перспективы внедрения роботизированных и интеллектуальных технологий в растениеводство. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021;(6(104)):95–104. DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-6-104-95-104> EDN: WXLZCP
4. Мишуров Н. П., Кондратьева О. В., Гольяпин В. Я., Федоренко В. Ф., Федоров А. Д., Слинько О. В. и др. Зарубежный опыт цифровизации сельского хозяйства. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 224 с.
5. Вестник испытаний сельскохозяйственной техники: периодический информационный бюллетень испытаний. Усть-Кинельский: АИСТ, 2020. 116 с. Режим доступа: <https://kubmis.ru/wp-content/uploads/2021/12/vestnik-ispytaniy-sbornyj-2020.pdf>
6. Дёмшин С. Л., Черемисинов Д. А., Остальцев В. П., Ильичёв В. В. Результаты исследования базовой модели многофункционального почвообрабатывающего агрегата. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(2):172–182. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.172-182> EDN: FNMSA
7. Дёмшин С. Л., Андреев В. Л., Черемисинов Д. А., Ильичёв В. В. Многофункциональный почвообрабатывающий агрегат: пат. № 2679700 Российская Федерация. № 2018110972; заяв. 27.03.2018; опубл. 12.02.2019. Бюл. №5. 9 с. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2679700C9/ru>
8. Крук И. С., Назаров Ф. И., Чигарёв Ю. В., Назарова Г. Ф., Карпович С. К., Маринич Л. А., Бакач Н. Г., Лепешкин Н. Д. Проектирование катковых приставок для пахотных агрегатов. Минск: БГАТУ, 2017. 104 с. Режим доступа: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/4848>
9. Алдошин Н. В., Васильев А. С., Кудрявцев А. В., Голубев В. В., Алипичев А. Ю. Результаты исследования предпосевной обработки почвы прутковым катком. Агроинженерия. 2020;(2(96)):9–16. DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-2-9-16> EDN: FQBLQQ
10. Никифоров М. В. Совершенствование конструкции выравнивающих рабочих органов для предпосевной обработки почвы под мелкосеменные культуры. Вестник НГИЭИ. 2018;(12(91)):30–39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36635053> EDN: YRJAXZ
11. Прошкин В. Е., Курдюмов В. И., Шаронов И. А., Яковлев С. А. Результаты полевых исследований прутково-дискового катка. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023;(4(64)):229–234. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-4-229-234> EDN: CPKVLZ
12. Лепешкин Н. Д., Мижурин В. В., Филиппов А. И., Пузевич К. Л. Анализ конструкций и технологических возможностей почвообрабатывающих катков. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2022;(4):144–149. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50019131> EDN: PBBFGR
13. Bernacki H., Hama J., Kanafoiski Cz. Agricultural Machines, Theory and Construction. Vol. 1. Washington D. C., 1972. 883 p.

References

1. Goltypin V. Ya., Mishurov N. P., Fedorenko V. F., Solovov S. A., Balabanov V. I., Aldoshin N. V. Innovative technologies and agricultural machinery abroad. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2020. 172 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44560439>
2. Shamshiri R. R., Weltzien C., Hameed I. A., Yule I. J., Grift T. E., Balasundram S. K. et al. Research and development in agricultural robotics: A perspective of digital farming. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 2018;11(4):1–14. DOI: <http://dx.doi.org/10.25165/j.ijabe.20181103.4278>
3. Zagazezheva O. Z., Kray K. F. Problems and prospects of introducing robotic and intelligent technologies in crop production. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN* = Izvestia of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov. 2021;(6(104)):95–104. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35330/1991-6639-2021-6-104-95-104>
4. Mishurov N. P., Kondratyeva O. V., Goltypin V. Ya., Fedorenko V. F., Fedorov A. D., Slinko O. V. et al. Foreign experience of agriculture digitalization. Moscow: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2022. 224 p.
5. Bulletin of tests of agricultural machinery: periodic information bulletin of tests. Ust'-Kinel'skiy: AIST, 2020. 116 p. URL: <https://kubmis.ru/wp-content/uploads/2021/12/vestnik-ispytaniy-sbornyj-2020.pdf>
6. Demshin S. L., Cheremisinov D. A., Ostal'tsev V. P., Ilyichev V. V. Results of the research of the basic model of multifunctional tillage unit. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(2):172–182. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.172-182>
7. Demshin S. L., Andreev V. L., Cheremisinov D. A., Il'ichev V. V. Multifunctional tillage unit: patent RF no. 2679700, 2019. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2679700C9/ru>
8. Kruk I. S., Nazarov F. I., Chigarev Yu. V., Nazarova G. F., Karpovich S. K., Marinich L. A., Bakach N. G., Lepeshkin N. D. Designing roller attachments for arable units. Minsk: BGATU, 2017. 104 p. URL: <https://rep.bsatu.by/handle/doc/4848>
9. Aldoshin N. V., Vasiliev A. S., Kudryavtsev A. V., Golubev V. V., Alipichev A. Yu. Study of seedbed preparation with rod-type soil compaction roller. *Agroinzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2020;(2(96)):9–16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-2-9-16>
10. Nikiforov M. V. Improvement of the design of leveler working bodies for pre-sowing soil treatment for small-seed crops. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGIEI. 2018;(12(91)):30–39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36635053>
11. Proshkin V. E., Kurdyumov V. I., Sharonov I. A., Yakovlev S. A. Results of field research of a rod-disc roller. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2023;(4(64)):229–234. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-4-229-234>
12. Lepeshkin N. D., Mizhurin V. V., Filippov A. I., Puzevich K. L. Analysis of designs and technological capabilities of tillage rollers. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2022;(4):144–149. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50019131>
13. Bernacki H., Haman J., Kanafoiski Cz. Agricultural Machines, Theory and Construction. Vol. 1. Washington D. C., 1972. 883 p.

Сведения об авторах

✉ Дёмшин Сергей Леонидович, доктор техн. наук, доцент, зав. лабораторией, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Зырянов Дмитрий Алексеевич, кандидат техн. наук, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Тимшин Даниил Игоревич, соискатель, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Information about the authors

✉ Sergey L. Demshin, DSc in Engineering, Head of the Laboratory, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7562-7965>, e-mail: sergdemshin@mail.ru

Dmitry A. Zyryanov, PhD in Engineering, researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

Daniil Ig. Timshin, applicant, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 166a, Lenin str., Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author