

Научная статья

УДК 631.319.2

DOI 10.48012/1817-5457_2024_4_160-166

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ КОЛЕСНОГО ПОЛУРАМНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА С НАВЕШАНЫМ ФРОНТАЛЬНО ПРОКАЛЫВАТЕЛЕМ-ЩЕЛЕРЕЗОМ

Щитов Сергей Васильевич, Кривуца Зоя Федоровна✉, Поликутина Елена Сергеевна, Панова Елена Владимировна, Сурин Роман Олегович

ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, Благовещенск, Россия

✉zfk20091@mail.ru

Аннотация. Используемые в настоящее время сельскохозяйственные машины для щелевания почвы имеют один существенный недостаток – невозможность одновременного применения с другими агрегатами, что позволило бы проводить совместно несколько операций. Это крайне важно там, где подготовка почвы и посев осуществляются практически в одни сроки, особенно на почвах с повышенной влажностью в период проведения весенних полевых работ. Цель исследований – определить оптимальные параметры взаимодействующих факторов при работе экспериментального машинно-тракторного агрегата с навешанным фронтально прокалывателем-щелерезом. Необходимо было выявить влияние конструктивно-технологических параметров предлагаемого устройства на глубину погружения рабочих органов и изменение состояния поверхностного слоя (физико-механические характеристики). Экспериментальные исследования проводились в полевых условиях на базе КФХ Жуковин С. А. Амурской области. В качестве объектов были взяты серийный колесный полурамный трактор К-700А + БДМ-6х4п и экспериментальный колесный полурамный трактор К-700А + БДМ-6х4п + фронтальный прокалыватель-щелерез. По результатам исследования для выдерживания агротехнологических сроков проведения ранневесенних полевых работ предлагается процесс щелевания почвы проводить одновременно с безотвальной подготовкой почвы с используемыми для этих целей тяжелыми дисковыми боронами. Это позволяет отвести избыточную влагу в нижние горизонты почвы, подготовить почву для дальнейшего проведения посевных работ. Использование прокалывателя-щелереза позволяет проводить щелевание почвы на глубину с 0,33 до 0,42 м за счет регулирования длины выхода штока гидроцилиндра от 0,55 до 0,64 м или за счет изменения угла наклона рамы устройства с 5,45 до 12,05°.

Ключевые слова: прокалыватель-щелерез, подготовка почвы, комбинированные агрегаты, щелевание почвы, энергетическое средство, глубина колеи, мосты трактора.

Для цитирования: Результаты исследований колесного полурамного энергетического средства с навешанным фронтально прокалывателем-щелерезом / С. В. Щитов, З. Ф. Кривуца, Е. С. Поликутин [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 4(80). С. 160-166. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_4_160-166.

Актуальность. В Амурской области характерной особенностью при проведении ранневесенних работ является то, что подготовка почвы и посевные работы проходят одновременно и они ограничены агротехнологическими сроками. Кроме этого они зависят еще и от множества факторов, присущих региону:

- наличие твердого подстилающего слоя в виде мерзлотного тяжелого суглинка;
- поздние сроки окончания уборочных работ;
- глубина промерзания почвы в зимний период;
- высота снежного покрова;
- количество осадков в виде дождя со снегом, выпавших осенью;

- временной период перехода от отрицательных температур к положительным;
- равномерность оттаивания верхнего плодородного слоя почвы;
- количество осадков, выпадающих при проведении весенних полевых работ;
- недостаточная несущая способность поверхностного слоя почвы (переувлажнение).

На основании вышесказанного напрашивается вывод, что выдерживание агротехнологических сроков проведения весенних полевых работ – подготовка почвы и посев – возможны за счет использования комбинированных агрегатов. При этом они должны одновременно способствовать повышению несущей способности поверхностного слоя почвы за счет отвода избыточ-

ной влаги в нижние горизонты. Решить проблему по устранению избыточной влажности возможно путем проведения такой сельскохозяйственной операции, как щелевание почвы. В то же время из-за конструктивных особенностей существующих щелевателей данная операция несовместима с другими работами, связанными с подготовкой почвы. Выпускаемые в настоящее время щелеватели, как правило, располагаются за энергетическим средством, что не позволяет использовать одновременно другие агрегаты.

Цель работы – определить оптимальные параметры взаимодействующих факторов при работе экспериментального машинно-тракторного агрегата с навешанным фронтально прокальвателем-щелерезом.

Материал и методы исследования. Для достижения цели была поставлена задача – выявить влияние конструктивно-технологических параметров предлагаемого устройства на глубину погружения рабочих органов и изменение состояния поверхностного слоя (физико-механические характеристики) [1]. При проведении исследований учитывались требования ГОСТа [2–7]. В качестве объектов исследований были взяты:

- серийный колесный полурамный трактор К-700А + БДМ-6х4п (рис. 1);
- экспериментальный колесный полурамный трактор К-700А + БДМ-6х4п + фронтальный прокальватель-щелерез (рис. 2).



Рисунок 1 – Серийный колесный трактор К-700А + БДМ-6х4п

Экспериментальные исследования проводились в полевых условиях на базе КФХ Жуковин С. А. Амурской области и предусматривали определение [8–10]:

- основных характеристик почвы, включая глубину колеи после прохода машинно-тракторного агрегата (МТА);
- глубины погружения рабочего органа предлагаемой конструкции в почвенный горизонт;

- величины нагрузки, приходящейся на рабочие прокальвающие органы устройства, передний и задний мосты трактора.



Рисунок 2 – Экспериментальный колесный трактор К-700А + БДМ-6х4п + фронтальный прокальватель-щелерез

Измерение величины влажности почвы осуществлялось с помощью цифрового влагомера PMS-710 (рис. 3).

При определении плотности применялся цилиндр-бур (рис. 4).



Рисунок 3 – Прибор для измерения влажности почвенного горизонта PMS-710



Рисунок 4 – Прибор для определения плотности почвы

Твердость почвы определяли с помощью цифрового измерителя твердости почвы TYD-2 (рис. 5).



Рисунок 5 – Фрагмент исследований по определению твердости почвы

Определение глубины прокалывания почвы щелерезом и глубины колеи после прохода серийного и экспериментального агрегатов осуществлялось с помощью линейки (рис. 6).



Рисунок 6 – Фрагмент измерения глубины колеи после прохода трактора по полю

Измерения скоростных характеристик, пройденного пути и буксования осуществлялись с помощью тензометрической аппаратуры в составе приборно-регистрационного комплекса и датчика буксования, установленного на экспериментальном тракторе (рис. 7–8).



Рисунок 7 – Приборно-регистрационный комплекс Magene C406 Pro и датчик буксования

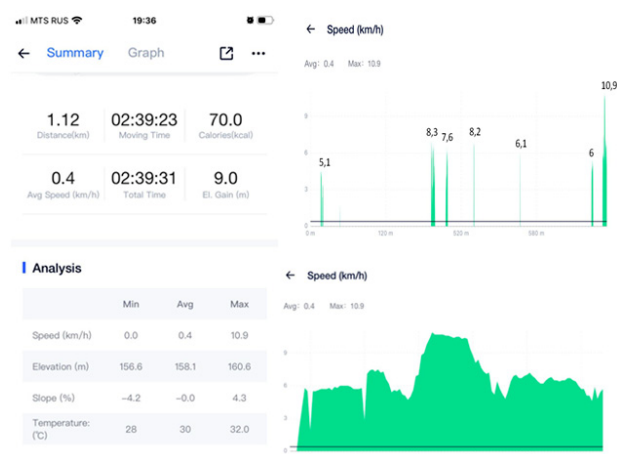


Рисунок 8 – Фрагмент фиксации показателей приборно-измерительным комплексом Magene C406 Pro

Для определения величины нагрузки, проходящей на рабочие прокалывающие органы устройства, передний и задний мосты трактора, использовали весы платформенные электронные марки МВСК(В).

Результаты исследований. В процессе работы повышенная влажность почвы более 25 % наблюдалась уже на глубине 0,2 м и при достижении подстилающего слоя составляла 45...48 %. Использование прокалывателя-щелереза снизило техногенное воздействие на почву после прохода МТА (К-700А + БДМ-6х4п + фронтальный прокалыватель-щелерез по сравнению с МТА в серийном варианте К-700А + БДМ-6х4п): плотность почвы уменьшилась на 7,1...7,4 %, твердость – на 6,5...6,9 %, глубина колеи – на 8,2...8,4 %.

Изменение конструктивно-технологических параметров предлагаемого устройства (длины выхода штока гидроцилиндра и угла наклона рамы) дает возможность изменять глубину почвенных каналов для отвода избыточной влаги с 0,33 до 0,42 м. При обработке полученных экспериментальных данных с целью обоснования оптимальных параметров прокалывателя-щелереза использовалась методика многофакторного эксперимента.

С целью определения зависимости глубины обработки почвы от конструктивно-технологических параметров прокалывателя-щелереза были выявлены основные факторы, оказывающие влияние на критерии оптимизации изучаемого процесса, а также уровни их варьирования:

x_1 - l , м – выход рабочего штока гидроцилиндра;

x_2 - α , град – угол наклона рамы прокалывателя-щелереза;

x_3 - v , км/ч – скорость движения МТА.

Результирующей функцией выбрана $Y_1 - h$, m – глубина прокалывания почвы прокалывающим органом перспективного устройства.

На основании проведенных исследований было установлено, что функции отклика должны быть нелинейными, при этом факторы должны иметь и три уровня варьирования (табл. 1).

Таблица 1 – Факторы и уровни их варьирования

Факторы	x_1	x_2	x_3
Верхний уровень (+1)	0,64	12,05	8,2
Основной уровень (0)	0,595	8,75	7,9
Нижний уровень (-1)	0,55	5,45	7,6

С целью определения коэффициентов регрессии и их значимости были использованы: ортогональный центрально-композиционный план второго порядка, критерии Стьюдента и Фишера.

В результате исследований получены уравнения регрессии:

– кодированный вид:

$$Y = 0,38 + 0,019x_1 + 0,0124x_2 + 0,021x_3 + 0,018x_1^2 - 0,012x_2^2; \quad (1)$$

– раскодированный вид:

$$h = 2,629 - 10,226l + 0,024\alpha + 0,07v + 8,94l^2 - 0,0011\alpha^2. \quad (2)$$

Более наглядно влияние факторов и уровней варьирования представлено на рисунках 9–10.

На рисунке 9а – от $X_2(\alpha)$ и $X_3(v)$ и $l = 0,595 m$ – постоянная величина:

$$h = -0,289 + 0,024\alpha + 0,07v - 0,0011\alpha^2. \quad (3)$$

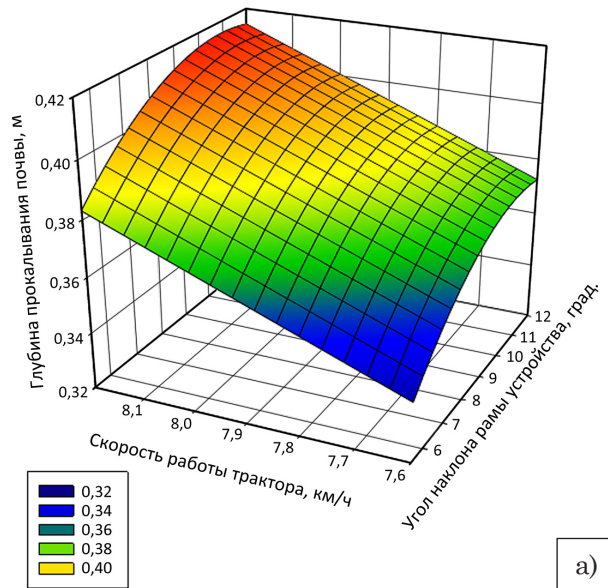
На рисунке 9б – от $X_1(l)$ и $X_3(v)$ и $\alpha = 3,57$ град – постоянная величина:

$$h = 2,75 - 10,226l + 0,07v + 8,944l^2. \quad (4)$$

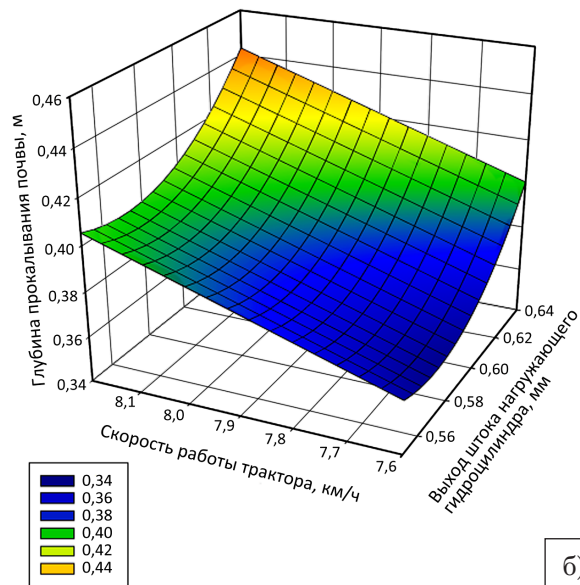
На рисунке 9в – от $X_1(l)$ и $X_2(\alpha)$ и $v = 7,9$ км/ч – постоянная величина:

$$h = 3,178 - 10,226l + 0,024\alpha + 8,944l^2 - 0,0011\alpha^2. \quad (5)$$

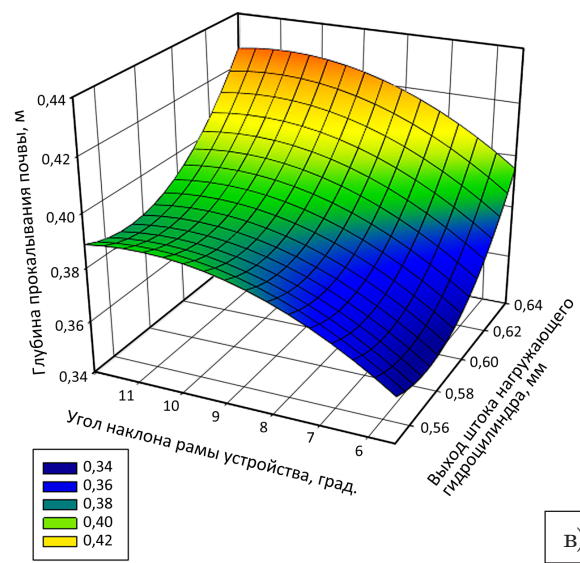
На рисунке 10а – от $X_2(\alpha)$, $X_3(v)$ и $l = 0,595 m$ – постоянная величина; на рисунке 10б – от $X_1(l)$, $X_3(v)$ и $\alpha = 3,57$ град – постоянная величина; на рисунке 10в – от $X_1(l)$, $X_2(\alpha)$ и $v = 7,9$ км/ч – постоянная величина.



а)



б)



в)

Рисунок 9 – Зависимость поверхности отклика от глубины прокалывания почвы рабочим органом

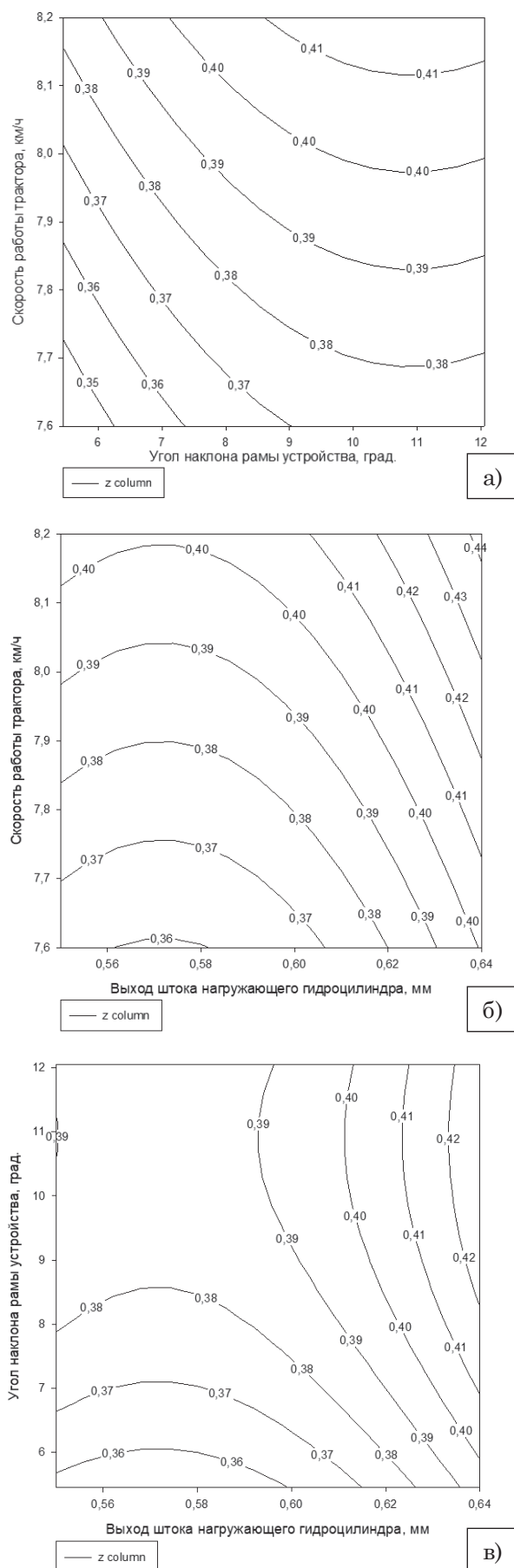


Рисунок 10 – Зависимость сечения поверхности отклика от глубины прокалывания почвы рабочим органом

Таким образом, полученные визуальные отображения действующих процессов (рис. 9–10) позволяют определить оптимальные параметры взаимодействующих факторов, а также показывают приемлемые значения их уровней для экспериментального энергетического средства с фронтальным прокальвателем-щелерезом в условиях движения колесного трактора по почвенным поверхностям Амурской области. Так, при глубине прокалывания 0,34–0,38 м оптимальными являются рабочая скорость агрегата в диапазоне от 7,9 до 8,1 км/ч при угле наклона рамы устройства от 8 до 12°. Причем максимальная глубина прокалывания 0,42 м достигается при выходе штока нагружающего гидроцилиндра от 0,62 до 0,64 м при этом же угле наклона рамы устройства от 8 до 12°. Таким образом, обоснован вывод, подтверждающий теоретические исследования, о том, что наиболее значимым фактором, ответственным за технологические показатели агрегата, является выход штока нагружающего цилиндра предлагаемого устройства.

Вывод. Использование прокальвателя-щелереза позволяет проводить щелевание почвы на глубину с 0,33 до 0,42 м за счет регулирования длины выхода штока гидроцилиндра от 0,55 до 0,64 м или за счет изменения угла наклона рамы устройства с 5,45 до 12,05°. При работе предлагаемого устройства произошло перераспределение нагрузки между мостами энергетического средства. На передний мост трактора нагрузка снизилась от 67,3 до 60,5 кН, а на задний мост – возросла от 33,1 до 38,6 кН. Перераспределение нагрузки позволило снизить отрицательное воздействие на почву: твердость, плотность, глубину колеи.

Список источников

1. Патент на изобретение № 2769449 Российская Федерация, МКИ А01В 37/00 Фронтальный прокальватель-щелерез: № 2021100256, заявл. 11.01.2021 опубл. 31.03.2022 / Щитов С. В., Сурин Р. О., Кузнецов Е. Е., Панова Е. В., Евдокимов В. Г.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Дальневосточный государственный аграрный университет». EDN: EQSCET.
2. ГОСТ 20915-2011 Сельскохозяйственная техника. Методы определения условий испытаний. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2013. 27 с.
3. ГОСТ 30745-2001 (ИСО 789-9-90) Тракторы сельскохозяйственные. Определение тяговых по-

казателей. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. 15 с.

4. ГОСТ 30750-2001 Тракторы сельскохозяйственные. Определение положения центра тяжести. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. 9 с.

5. ГОСТ 7057-2001. Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2001. 11 с.

6. ГОСТ Р 54784-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Методы оценки технических параметров. Москва: ИПК Издательство стандартов, 2012. 23 с.

7. ГОСТ 26244-84 Обработка почвы предпосевная. Требования к качеству и методы определения. Москва: Издательство стандартов, 1986. 7 с.

8. Результаты экспериментальных исследований по определению влияния устройства для перераспределения сцепного веса на тяговые свойства и ходовую систему колесного трактора / Е. С. Поликутина [и др.] // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 10. С. 95–98. EDN: UMKOJJ.

9. Surin R. O., et al. Comparative characteristics of undercarriage systems as criteria for selecting a power tool for risky farming zones. E3S Web of Conferences. Volume 431 (2023). XI International Scientific and Practical Conference Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITSE-2023). 2023. (2,198 Mb). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202343101002> <https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/68/contents/contents.html>. EDN: AXOZIN.

10. Surin R. O., et al. Raising the efficiency of using tillage machines based on a semi-frame tractor. AIP CONFERENCE PROCEEDINGS. PROCEEDINGS OF THE IV INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERNIZATION, INNOVATIONS, PROGRESS: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering: MIP: Engineering-IV-2022. Melville, 2024. С. 030002.

References

1. Patent na izobretenie № 2769449 Rossijskaya Federaciya, MKI A01B 37/00 Frontal'nyj prokalyvatel'shchelerez: № 2021100256, zayavl. 11.01.2021 opubl. 31.03.2022 / Shchitov S. V., Surin R. O., Kuznecov E. E., Panova E. V., Evdokimov V. G.; zayavitel' i patentoo-

bladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Dal'nevostochnyj gosudarstvennyj agrarnyj universitet». EDN: EQSCET.

2. GOST 20915-2011 Sel'skohozyajstvennaya tekhnika. Metody opredeleniya uslovij ispytaniy. Moskva: IPK Izdatel'stvo standartov, 2013. 27 s.

3. GOST 30745-2001 (ISO 789-9-90) Traktory sel'skohozyajstvennyye. Opredelenie tyagovyh pokazatelej. Moskva: IPK Izdatel'stvo standartov, 2001. 15 s.

4. GOST 30750-2001 Traktory sel'skohozyajstvennyye. Opredelenie polozheniya centra tyazhesti. Moskva: IPK Izdatel'stvo standartov, 2001. 9 s.

5. GOST 7057-2001. Traktory sel'skohozyajstvennyye. Metody ispytaniy. Moskva: IPK Izdatel'stvo standartov, 2001. 11 s.

6. GOST R 54784-2011 Ispytaniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki. Metody ocenki tekhnicheskikh parametrov. Moskva: IPK Izdatel'stvo standartov, 2012. 23 s.

7. GOST 26244-84 Obrabotka pochvy predposevna-ya. Trebovaniya k kachestvu i metody opredeleniya. Moskva: Izdatel'stvo standartov, 1986. 7 s.

8. Rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij po opredeleniyu vliyaniya ustrojstva dlya pereraspredeleniya scepного веса на тяговые свойства и ходовую систему колесного трактора / Е. С. Поликутина [и др.] // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2015. Т. 29. № 10. С. 95–98. EDN: UMKOJJ.

9. Surin R. O., et al. Comparative characteristics of undercarriage systems as criteria for selecting a power tool for risky farming zones. E3S Web of Conferences. Volume 431 (2023). XI International Scientific and Practical Conference Innovative Technologies in Environmental Science and Education (ITSE-2023). 2023. (2,198 Mb). DOI: <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202343101002> <https://www.e3sconferences.org/articles/e3sconf/abs/2023/68/contents/contents.html>. EDN: AXOZIN.

10. Surin R. O., et al. Raising the efficiency of using tillage machines based on a semi-frame tractor. AIP CONFERENCE PROCEEDINGS. PROCEEDINGS OF THE IV INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERNIZATION, INNOVATIONS, PROGRESS: Advanced Technologies in Material Science, Mechanical and Automation Engineering: MIP: Engineering-IV-2022. Melville, 2024. S. 030002.

Сведения об авторах:

С. В. Щитов, доктор технических наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0003-2409-450X>;


З. Ф. Кривуца , доктор технических наук, профессор, <https://orcid.org/0000-0002-5345-1732>;

Е. С. Поликутина, кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0009-0007-1421-3321>;

Е. В. Панова, кандидат технических наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0003-1667-7123>;

Р. О. Сурин, аспирант, <https://orcid.org/0000-0002-7667-551X>

ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, ул. Политехническая, 86, Благовещенск, Россия, 675005

 zfk20091@mail.ru

Original article

RESULTS OF STUDIES OF A WHEELED SEMI-FRAME POWER UNIT WITH A FRONTALLY MOUNTED PIERCER-SLITTER

Sergey V. Shchitov, Zoya F. Krivutsa ✉, **Elena S. Polikutina, Elena V. Panova, Roman O. Surin**

Far Eastern SAU, Blagoveshchensk, Russia

✉zfk20091@mail.ru

Abstract. *The agricultural machines currently used for soil slitting have one significant drawback – the impossibility of simultaneous use with other units, which would allow several operations to be carried out concurrently. This is extremely important when the processes of soil preparation and sowing are carried out almost at the same time, especially on soils with high humidity during the spring planting work. The purpose of the research is to determine the optimal parameters of interacting factors during the operation of an experimental machine–tractor unit with a frontally mounted piercer-slitter. It was necessary to identify the impact of the design and technological parameters of the proposed device on the depth of immersion of the working bodies and the change in the state of the surface layer (physical and mechanical characteristics). The experimental studies were conducted in the fields of the Zhukovin S. A. farm enterprise in the Amur region. The objects were the mass produced wheeled semi-frame tractor K-700A + BDM-6x4p and the experimental wheeled semi-frame tractor K-700A + BDM-6x4p + the front piercer-slitter. According to the research results, in order to meet the agricultural and technological deadlines for the early spring planting work, it is proposed to carry out the processes of soil slitting and subsoil tillage simultaneously with heavy disc harrows used for these purposes. This allows you to remove excess moisture to the lower horizons of the soil, prepare the soil for further sowing operations. The application of a piercer-slitter provides the possibility of slitting the soil to a depth of 0.33 to 0.42 m by adjusting the length of the outlet of the hydraulic cylinder rod from 0.55 to 0.64 m or by changing the angle of inclination of the device frame from 5.45 to 12.05°.*

Key words: piercer-slitter, soil preparation, combined units, soil slitting, power device, track depth, tractor axles.

For citation: Shchitov S. V., Krivutsa Z. F., Polikutina E. S., Panova E. V., Surin R. O. Results of studies of a wheeled semi-frame power unit with a frontally mounted piercer-slitter. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy.* 2024; 4(80): 160-166. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_4_160-166.

Authors:

S. V. Shchitov, Doctor of Technical Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0003-2409-450X>;

Z. F. Krivutsa ✉, Doctor of Technical Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0002-5345-1732>;

E. S. Polikutina, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0009-0007-1421-3321>;

E. V. Panova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0003-1667-7123>;

R. O. Surin, Postgraduate student, <https://orcid.org/0000-0002-7667-551X>

Far Eastern SAU, 86 Politekhnikeskaya St., Blagoveshchensk, Russia, 675005

✉zfk20091@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 28.10.2024; одобрена после рецензирования 14.11.2024;

принята к публикации 26.11.2024.

The article was submitted 28.10.2024; approved after reviewing 14.11.2024; accepted for publication 26.11.2024.