

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.316.022:633.2.03

DOI: 10.26897/2687-1149-2022-2-8-12

РАЗРАБОТКА КОМБИНИРОВАННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА
ДЛЯ ВВОДА ЗАЛЕЖНЫХ ЗЕМЕЛЬ В СЕВОБОРОТ**АЛДОШИН НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**[✉], *д-р техн. наук, профессор*¹aldoshin@rgau-msha.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>; Scopus Autor ID: 5719413129; Researcher ID: AAD-6548-2022**ВАСИЛЬЕВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ**, *канд. с.-х. наук, доцент*²vasilevtgsha@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0936-2011>; Scopus Autor ID: 57204957260; Researcher ID: Q-2092-2017**КУДРЯВЦЕВ АНДРЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**, *канд. техн. наук, доцент*²akud@tvgscha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8341-0467>; Scopus Autor ID: 57204948631**ГОЛУБЕВ ВЯЧЕСЛАВ ВИКТОРОВИЧ**, *д-р техн. наук, профессор*²vgolubev@tvgscha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-3421-6658>; Scopus Autor ID: 56663855300; Researcher ID: AAG-3221-2022¹ Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49² Тверская государственная сельскохозяйственная академия; 170904, Российская Федерация, г. Тверь, пос. Сахарово, ул. Василевского, 7

Аннотация. В условиях постоянно возрастающих требований к снижению энергоэффективности технологических процессов в растениеводстве актуальным является создание новых средств механизации, позволяющих осуществлять за один проход сельскохозяйственной машины две операции – скашивание растительности и поверхностную обработку почвы. Анализ современной научной и патентной литературы показал отсутствие такой техники в сельскохозяйственном производстве. Целью исследований являлось теоретическое обоснование нового комбинированного органа, предназначенного для одновременного кошения растительности и фрезерования почвы на основе системного подхода. В результате теоретических исследований определены исходные требования к технологическим операциям по удалению малоценной и сорной растительности с одновременным фрезерованием почвенного профиля, рассмотрена модель совмещения данных технологических процессов с учётом требований к технологии заготовки кормов. Учитывалось, что при подготовке почвы необходимо полное подрезание растительности с наименьшими энергозатратами без снижения ее качества для последующих воздействий. При математическом проектировании рабочего органа учитывались реологические свойства объектов обработки – почвенного слоя и растительного материала. На основании данных исследований разработана эффективная конструкция рабочего органа, позволяющего совмещать технологический процесс кошения с фрезерованием почвы. Сравнительные расчёты агроэнергоёмкости совмещенной технологической операции показали снижение удельных энергозатрат в среднем на 10...12%.

Ключевые слова: комбинированный рабочий орган, фрезерование почвы, кормовые угодья, кошение, оптимизация технологий, теоретические исследования.

Формат цитирования: Алдошин Н.В., Васильев А.С., Кудрявцев А.В., Голубев В.В. Разработка комбинированного рабочего органа для ввода залежных земель в севооборот // Агроинженерия. 2022. Т. 24. № 2. С. 8-12. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-8-12>.

© Алдошин Н.В., Васильев А.С., Кудрявцев А.В., Голубев В.В., 2022



ORIGINAL PAPER

DESIGNING A HYBRID WORKING UNIT FOR INTRODUCING
FALLOW LANDS INTO CROP ROTATION**NIKOLAY V. ALDOSHIN**[✉], *DSc (Eng), Professor*¹naldoshin@yandex.ru[✉]; <http://orcid.org/0000-0002-0446-1096>; Scopus Autor ID: 5719413129; Researcher ID: AAD-6548-2022**ALEKSANDR S. VASILIEV**, *PhD (Ag), Associate Professor*²vasilevtgsha@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0002-0936-2011>; Scopus Autor ID: 57204957260; Researcher ID: Q-2092-2017**ANDREY V. KUDRYAVTSEV**, *PhD (Eng), Associate Professor*²akud@tvgscha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8341-0467>; Scopus Author ID: 57204948631**VYACHESLAV V. GOLUBEV**, *DSc (Eng), Professor*²vgolubev@tvgscha.ru; <http://orcid.org/0000-0002-6421-6658>; Scopus Autor ID: 56663855300; Researcher ID: AAG-3221-2022¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation² Tver State Agricultural Academy; 7, Vasilevskogo Str. (Sakharovo), Tver, 170904, Russian Federation

Abstract. Constantly increasing requirements to reduce the energy efficiency of technological processes in crop production call for designing new mechanization means capable of cutting and performing surface tillage in one pass of a unit. The study of modern

scientific and patent literature has revealed that the existing individual models of such machines are not used in agricultural production. The work aims to theoretically justify a new hybrid unit designed for simultaneous cutting and soil rotatilling based on the system approach. Theoretical studies showed that the initial requirements for removing low-value and weedy vegetation with simultaneous soil rotatilling. The authors considered a model of combining these technological processes, taking into account the requirements for fodder harvesting technology. A provision was made that during soil preparation it is necessary to undercut the vegetation completely with the least energy inputs without reducing its quality for further impacts. In mathematical designing of the working unit, rheological properties of cultivation objects – soil layer and vegetative material – were taken into account. Based on these research outcomes, the authors developed the effective design of a working unit combining cutting with soil rotatilling. Comparative analyses of the agro-energy intensity of the combined operation showed a reduction of specific energy consumption by 10...12% on average.

Key words: forage lands, hybrid working unit, soil rotatilling, cutting, technology optimization, theoretical research.

For citation: Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V., Golubev V.V. Designing a hybrid working unit for introducing fallow lands into crop rotation. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2022; 24(2): 8-12. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2022-2-8-12>.

Введение. Ротационные косилки являются распространенными сельскохозяйственными машинами, широко применяемыми при заготовке различных видов кормов [1]. К преимуществам данных машин следует отнести высокую надежность при кошении различных травостоев вне зависимости от их ботанического состава [1, 2]. Это факт имеет особое значение, так как видовое разнообразие старосеяных кормовых угодий представлено в большинстве случаев либо малоценными растениями, либо видами, появление которых обусловлено активными сукцессионными процессами [3, 4]. При этом скашивание растительности на таких участках зачастую предшествует процессу обработки почвы, вызванного необходимостью выравнивания поверхности кормовых угодий, их омоложением, а также подготовкой почвы для выращивания последующих культур (в случае реализации кормового севооборота) [1, 2, 5]. В условиях усиливающихся тенденций снижения энергоэффективности агротехнологий требуется разработка новых средств механизации, позволяющих при необходимости осуществлять за один проход сельскохозяйственной машины как скашивание трав, так и поверхностную обработку почвы [2, 6, 7].

Анализ современной научной литературы показал, что существуют отдельные модели подобных машин в лесном хозяйстве, используемые в системе лесовосстановления, но они практически отсутствуют в сельскохозяйственном производстве [6, 7]. С учетом значительного объема кормовых угодий, занимающих в Российской Федерации более 92 млн га [1], разработка новых многоцелевых машин и рабочих органов для решения обозначенных задач является актуальной и требует проведения отдельных исследований.

Цель исследований: представить теоретическое обоснование нового комбинированного органа, предназначенного для одновременного кошения растительности и фрезерования почвы.

Материалы и методы. В основу моделирования технологического процесса взаимодействия элементов системы «Внешняя среда-почва с растительностью-рабочий орган» заложен блочный принцип [8, 9]. Отдельно рассматриваемая подсистема модели отражает независимое взаимодействие элементов рабочего органа с объектом обработки на различных этапах реализации технологического процесса. Систему модели можно представить в виде блок-схемы, включающей в себя следующие элементы: внешняя среда (почвенно-климатические и зональные особенности); введенная залежь (земли сельскохозяйственного назначения при освоении не более 3-5 лет); почва с растительностью (объект обработки с малоценной растительностью или мелким кустарником при прохождении сукцессионных процессов); почва (объект обработки как материал, обладающий

физико-механическими и технологическими свойствами (ФМТС)); исходные требования (требования к простой или сложной технологической операции, выполняемой рабочим органом комбинированного типа); требования к характеристикам технической системы (требования к основным параметрам, режимам рабочего органа как отдельного орудия, так и в составе машинно-тракторного агрегата) (рис. 1).

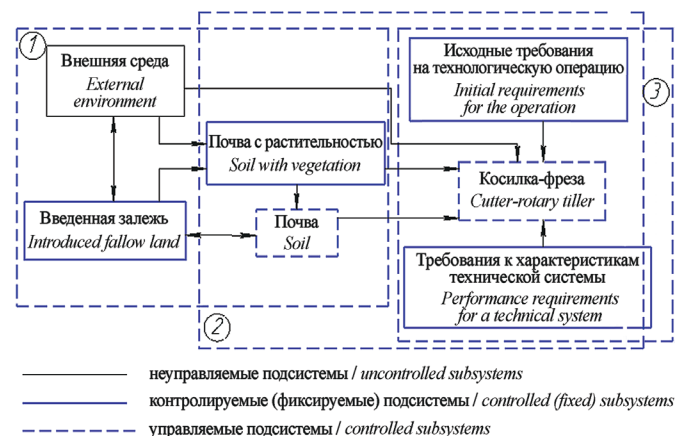


Рис. 1. Схема модели «Внешняя среда-почва с растительностью-рабочий орган»:

- 1 – агрономическая составляющая;
- 2 – технологическая составляющая;
- 3 – техническая составляющая

Fig. 1. Analytical scheme of the “environment – soil with vegetation – working unit” model:

- 1 – agronomic component;
- 2 – technological component;
- 3 – technical component

Система модели включает в себя не только технические подсистемы (основные параметры, режимы рабочего органа), но и агрономические характеристики объекта обработки (биологические свойства растительного материала), ФМТС почвы, особенно влияющие на качество и энергоёмкость выполняемого технологического воздействия на объект обработки. Ввиду сложности составленной многоуровневой системы последовательное рассмотрение отдельных подсистем позволит упростить её при дальнейшей формализации и возможном проектировании с применением элементов САПР [10]. Следовательно, при проектировании рабочего органа комбинированного типа, позволяющего совмещать технологические операции кошения со щадящим фрезерованием поверхностного горизонта почвы, можно использовать ранее составленный алгоритм, используемый при разработке рабочих органов ротационного типа: катков, выравнивателей и др. [11].

Структурная схема деформации и разрушения почвенно-профиля, содержащего малоценную и сорную раститель-

ность, с учётом основных принципов моделирования системы представлена на рисунке 2.

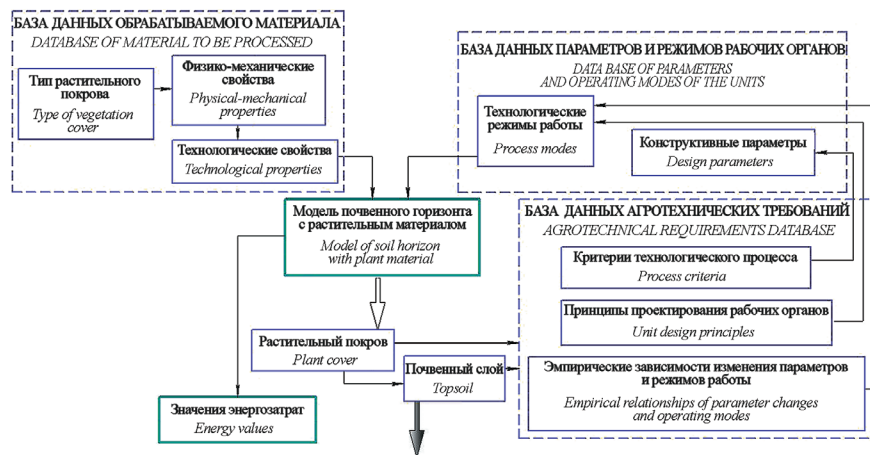


Рис. 2. Структура схемы модели технологического процесса совмещения кошения с деформацией почвы

Fig. 2. Structural scheme of the technological model combining cutting with soil deformation processes

Машинная реализация разработанной подсистемы, составленной на основании структурной схемы модели исследуемого технологического процесса, возможна при формализации программного комплекса, составленного на основании алгоритма проектирования.

Почвенный слой с растительным материалом обладает определёнными исходными физико-механическими и технологическими свойствами. Исходные свойства, характеризующие объект обработки, постоянно актуализируются, поскольку являются вводными параметрами. В случае с почвой за один из комплексных показателей принята твёрдость¹, однако для растительного материала подобный показатель выделить сложно. Поэтому за показатель прочности при деформации почвенного пласта с растительным покровом принимается предел текучести « σ_T ». Отдельная база данных конструктивных параметров, технологические режимы работы накапливаются в процессе сбора и обработки информации с одновременной систематизацией. При анализе полученных данных по критериям качества и энергоёмкости возможно получение отклика системы, а в случае необходимости – внесения дополнительных данных по качеству технологического процесса или значения пределов по требованиям к удельной энергоёмкости.

На основе анализа существующих математических моделей (упругое, упруго-вязкое, упруго-вязкопластическое) процесс деформации рассмотрен исходя из требований к математической модели рабочего органа, деформирующего одновременно и растительный, и почвенный слой.

Применив математический аппарат деформации твёрдого тела, можно описать деформирование с учетом реологических свойств обрабатываемых материалов – почвенного слоя и растительного материала. Напряжённо-деформированное состояние объекта обработки при воздействии рабочим органом можно рассмотреть в виде уравнений, характеризующих главные напряжения – нормальные и касательные (σ , τ),

а также деформации с учётом критерия времени. Данные уравнения можно сформулировать в виде²:

$$\begin{aligned} \varepsilon_\gamma &= f_2(\tau_i, \sigma_{cp}, t); \\ \gamma_i &= f_1(\tau_i, \sigma_{cp}, t), \end{aligned} \quad (1)$$

где ε_γ – объёмные деформации; γ_i – сдвиговые деформации; τ – касательные напряжения; σ – нормальные напряжения; t – время нагружения.

Существенное множество математических моделей, характеризующих материалы обработки, в том числе многокомпонентные, позволяет расширить возможности их реализации, используя реологические свойства материала.

Согласно установленным условиям реологических уравнений и видам графического и фактического взаимодействия отдельных элементов, характеризующих объект обработки [12], принята упруго-вязкопластическая среда (рис. 3).

Для вывода реологических уравнений модели используем известные математические соотношения³⁻⁵, математическое отражение составляющих модели – упругости (Гука), пластичности (Сен-Венана), вязкости (Ньютона) в виде отдельных составляющих:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon; \quad (2)$$

$$\sigma \geq [\sigma_T]; \quad (3)$$

$$\tau = \eta \cdot \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (4)$$

где « η » – коэффициент вязкости; $\frac{d\varepsilon}{dt}$ – градиент скорости деформации.

² Вялов С.С. Реологические основы механики грунтов. М.: Высшая школа, 1978. 447 с.

³ Баловнев В.И. Моделирование процессов взаимодействия со средой рабочих органов дорожно-строительных машин: Учебное пособие для студентов вузов. М.: Высшая школа, 1981. 335 с.

⁴ Гольдштейн М.Н. Механические свойства грунтов (Напряженно-деформативные и прочностные характеристики). М.: Стройиздат, 1979. 304 с.

⁵ Рейнер М.М. Реология. М.: Наука, 1965. 233 с.

¹ ГОСТ 20915-2011. Испытание сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. М.: Стандартинформ, 2020. 26 с.

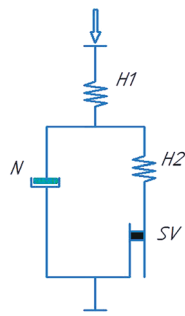


Рис. 3. Схематичная модель упруго-вязкопластического состояния объекта обработки:

H1 – первая составляющая упругости;

H2 – вторая составляющая упругости;

SV – составляющая пластичности; N – составляющая вязкости

Fig. 3. Schematic model of the elastic-viscoplastic state of the processed object:

H1 – the first component of elasticity;

H2 – the second component of elasticity;

SV – the plasticity component; N – the viscosity component

Результаты и обсуждение. Использование представленной модели взаимодействия позволяет составить теоретический график изменения нагрузки от времени (рис. 4).

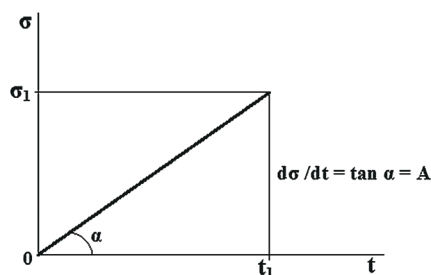


Рис. 4. График изменения нагрузки модели

Fig. 4. Diagram of the changes in the model load

При подстановке значений и машинной реализации разработанной математической модели используются данные материалов аналитических исследований по ФМТС почвы с растительным покровом. Принимаются следующие значения, характеризующие объект обработки: $\sigma_T = 56,0$ кПа; $E_1 = 96,0$ кПа; $E_2 = 140,0$ кПа; импульс нагрузки $A = 60,0$ кПа.

В результате расчетов получена теоретическая зависимость относительной деформации от времени (рис. 5).

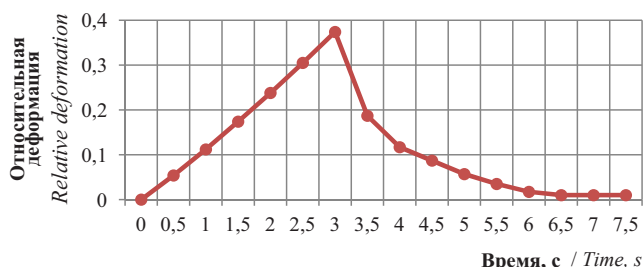


Рис. 5. Графическая зависимость деформации почвы с растительным покровом, полученная по результатам математического моделирования фрезерования с кошением

Fig. 5. Graphic relationship between vegetation-containing soil deformation and time, obtained with mathematical modeling of rotatilling and mowing

Патентные исследования ретроспективой более 15 лет по странам ближнего зарубежья, а также анализ технологических процессов совмещения кошения с фрезерованием позволили выявить недостатки у существующих конструкций рабочих органов для кошения и фрезерования. К ним можно отнести ограниченные функциональные возможности при высокой удельной металлоёмкости, громоздкость и сложность конструкции, значительную энергоёмкость выполняемого технологического процесса.

Патентные исследования позволили разработать конструкцию комбинированного рабочего органа. Разработанный рабочий орган соответствует основным требованиям, предъявляемым к проектированию рабочих органов почвообрабатывающих машин. Конструкция рабочего органа, позволяющего совмещать технологический процесс кошения с фрезерованием, защищена патентом РФ на полезную модель № 201279 [6].

Выполненные конструктивные расчёты предложенного рабочего органа по методике [2] позволили оценить энергоёмкость технологических процессов, в результате чего установлено снижение удельных энергозатрат на 10...12%.

Схема конструкции рабочего органа для совмещения технологической операции кошения с фрезерованием представлена на рисунке 6.

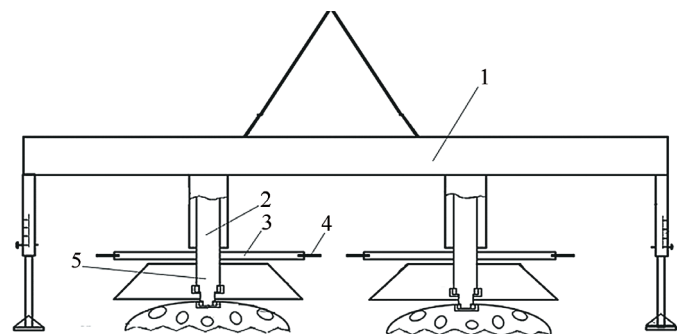


Рис. 6. Схема базовой модели косилки-фрезы:

1 – рама; 2 – вал; 3 – диск косилки; 4 – ножи;

5 – крепление дисков для обработки почвы

Fig. 6. Scheme of the basic model of a cutter-rotary tiller:

1 – frame; 2 – shaft; 3 – mower disc; 4 – knives;

5 – mounting tillage discs

С использованием крепления 5 производится фиксация вырезных дисков фрезерного устройства с предварительно установленными скашивающими дисками 3. На дисках косилки 3 дополнительно устанавливаются ножи для бесподборного среза высокостебельной растительности. Режущие аппараты собираются на П-образной раме 1 и приводятся в движение через три редуктора с повышающей частотой вращения от вала отбора мощности трактора. Для защиты рабочих органов косилки от попадания почвенных элементов используется отражатель в виде усечённого кожуха.

Выводы

1. Экспериментальными исследованиями установлена возможность применения косилки-фрезы не только при освоении залежи с высокостебельной сорной растительностью, но и для улучшения травостоя при заготовке кормов растительного происхождения.

2. Сравнительные расчёты энергоёмкости совмещённых технологических процессов кошения и фрезерования показали снижение удельных энергозатрат на 10...12%.

Библиографический список

1. Алдошин Н.В. Инновационные технологии заготовки высококачественных кормов / Н.В. Алдошин, А.С. Васильев, В.А. Тюлин, В.В. Голубев, В.И. Сыроватка [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 92 с.
2. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Кудрявцев А.В., Голубев В.В. Исследование модифицированного рабочего органа комбинированной ротационной косилки // Агроинженерия. 2021. № 3(103). С. 10-18. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-10-18>
3. Hejzman M., Hejzmanová P., Pavlů V., Beneš J. Origin and history of grasslands in Central Europe – a review. *Grass and Forage Science*, 2013; 68(3): 345-363. <https://doi.org/10.1111/gfs.12066>
4. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V., Firsov A.S., Golubev V.V., Vasilieva L.Yu. Improvement of forage lands in Central Non-Black Earth Zone of Russia by using some integrated approaches. *Plant Science Today*, 2021; 8(1): 9-15. <https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.827>
5. Xie S., Zhao H., Yang S., Xie Q., Yang M. Design, analysis and test of small rotary lawn mower of single-disc type. *INMATEH – Agricultural Engineering*, 2020; 62(3): 89-98.
6. Косилка ротационная комбинированная для многолетних травостоев: Патент 201279 РФ / А.С. Васильев, Н.В. Алдошин, В.В. Голубев, А.В. Кудрявцев; заяв. № 2020126424, приоритет от 05.08.2020 г. Опубл. 08.12.2020 г. Бюл. № 34.
7. Голубев И.Г. Передовые практики введения залежных земель в оборот / И.Г. Голубев, Н.П. Мишуков, В.В. Голубев, А.С. Васильев, А.С. Апатенко, Н.С. Севрюгина. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. 80 с.
8. Добринов А.В. Методологический подход к современному проектированию сельскохозяйственных машин // АгроЭкоИнженерия. 2008. Вып. 80. С. 177-186.
9. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Сизов О.А. Перспективные пути применения энерго- и экологически эффективных машинных технологий и технических средств // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 4. С. 8-11.
10. Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Дорохов А.С. Компьютерные технологии проектирования в учебном процессе агроинженерных вузов // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2010. № 4. С. 82-85.
11. Никифоров М.В. Совершенствование конструкции выравнивающих рабочих органов для предпосевной обработки почвы под мелкосеменные культуры // Вестник НГИЭИ. 2018. № 12(91). С. 30-39.
12. Золотаревская Д.И. Изменение реологических свойств и плотности дерново-подзолистой супесчаной почвы при воздействии колёсного трактора // Почвоведение. 2013. № 7. С. 829-839.

Критерии авторства

Алдошин Н.В., Васильев А.С., Кудрявцев А.В., Голубев В.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Алдошин Н.В., Васильев А.С., Кудрявцев А.В., Голубев В.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 04.02.2022

Одобрена после рецензирования 22.02.2022

Принята к публикации 24.02.2022

References

1. Aldoshin N.V. Innovatsionnye tekhnologii zagotovki vysokokachestvennykh kormov [Innovative technologies for making high-quality forage] / N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, V.A. Tyulin, V.V. Golubev, V.I. Syrovatka [and others]. Moscow, FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2020. 92 p. (In Rus.)
2. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V., Golubev V.V. Issledovanie modifitsirovannogo rabocheho organa kombinirovannoy rotatsionnoy kosilki [Study of the modified working body of a combined rotary mower]. *Agricultural Engineering*, 2021; 3(103): 10-18. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-3-10-18> (In Rus.)
3. Hejzman M., Hejzmanová P., Pavlů V., Beneš J. Origin and history of grasslands in Central Europe – a review. *Grass and Forage Science*, 2013; 68(3): 345-363. <https://doi.org/10.1111/gfs.12066>
4. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V., Firsov A.S., Golubev V.V., Vasilieva L.Yu. Improvement of forage lands in Central Non-Black Earth Zone of Russia by using some integrated approaches. *Plant Science Today*, 2021; 8(1): 9-15. <https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.827>
5. Xie S., Zhao H., Yang S., Xie Q., Yang M. Design, analysis and test of small rotary lawn mower of single-disc type. *INMATH – Agricultural Engineering*, 2020; 62(3): 89-98.
6. Vasiliev A.S., Aldoshin N.V., Golubev V.V., Kudryavtsev A.V. Kosilka rotatsionnaya kombinirovannaya dlya mnogoletnikh travostoyev [Combined rotary mower for perennial grass stand]: Patent 201279 RF; No. 2020126424, 2020. (In Rus.)
7. Golubev I.G. Peredovye praktiki vvedeniya zaleznykh zemel' v oborot [Advanced practices of introducing fallow lands into the crop rotation system] / I.G. Golubev, N.P. Mishurov, V.V. Golubev, A.S. Vasiliev, A.S. Apatenko, N.S. Sevryugin. Moscow, FGBNU “Rosinformagrotekh”, 2021. 80 p. (In Rus.)
8. Dobrinov A.V. Metodologicheskiy podkhod k sovremennomu proyektirovaniyu sel'skokhozyaystvennykh mashin [Methodological approach to modern agricultural machinery designing]. *AgroEkoInzhineriya*, 2008; 80: 177-186. (In Rus.)
9. Izmailov A.Yu., Lobachevsky Ya.P., Sizov O.A. Perspektivnye puti primeneniya energo- i ekologicheski effektivnykh mashinnykh tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv [Promising ways of using energy- and environmentally efficient machine technologies and technical means]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2013; 4: 8-11. (In Rus.)
10. Erokhin M.N., Kazantsev S.P., Dorokhov A.S. Komp'yuternye tekhnologii proyektirovaniya v uchebnom protsesse agroinzhenernykh VUZov [Computer design technologies in the educational process of agroengineering universities]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2010; 4: 82-85. (In Rus.)
11. Nikiforov M.V. Sovershenstvovanie konstruktssii vyravnivayushchikh rabochikh organov dlya predposevnoy obrabotki pochvy pod melkosemennyye kul'tury [Improving the design of leveling working units for pre-sowing tillage for small-seed crops]. *Vestnik NGIEI*, 2018; 12(91): 30-39. (In Rus.)
12. Zolotarevskaya D.I. Izmenenie reologicheskikh svoystv i plotnosti dernovo-podzolistoy supeschanoy pochvy pri vozdeystvii kolosnogo traktora [Changes in the rheological properties and density of sod-podzolic sandy loamy soil under the influence of a wheeled tractor]. *Pochvovedenie*, 2013; 7: 829-839. (In Rus.)

Contribution

N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, A.V. Kudryavtsev, V.V. Golubev performed theoretical studies and, based on the results obtained, conducted the experiment and wrote the manuscript. N.V. Aldoshin, A.S. Vasiliev, A.V. Kudryavtsev, V.V. Golubev have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The article was received 04.02.2022

Approved after reviewing 22.02.2022

Accepted for publication 24.02.2022