

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.352.02

<https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-16-21>**Сегментно-пальцевая косилка для скашивания естественных и сеяных трав в условиях малых форм хозяйствования****В.Ф. Первушин¹**, **Ф.М. Абдуллин²**, **М.З. Салимзянов³**, **А.Г. Ипатов⁴**, **А.Г. Иванов⁵**^{1,2,3,4,5} Удмуртский государственный аграрный университет; г. Ижевск, Россия¹ pervushin54@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0572-2080>³ salimmar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0877-4372>⁴ Ipatow.al@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2637-4214>⁵ ivalgen@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7111-7642>

Аннотация. При заготовке кормов применяют в основном сегментно-пальцевые косилки. Для улучшения их качественных и эксплуатационных показателей необходимо изучить траекторию движения, скорость и ускорение ножа косилки в условиях изменяющегося рельефа местности. С этой целью проведено исследование влияния изменения величины дезаксиала на качественные и энергетические показатели режущего аппарата косилки, а также определены параметры и режимы работы ножа косилки с аксиальным механизмом привода ножа. По результатам экспериментальных исследований установлено, что режущий аппарат в процессе копирования рельефа поля изменяет угол наклона относительно горизонта в пределах $\pm 15^\circ$. При этом величина дезаксиала изменяется в пределах 0,281...0,492 м с шагом в 1 градус. Изменение величины дезаксиала влечет за собой изменение хода, скорости и ускорения ножа. Используя аналитический метод кинематического исследования кривошипно-шатунных механизмов по Артоболовскому и выполнив расчеты в программе Excel, получили графические зависимости хода и скорости ножа в зависимости от углового расположения режущего аппарата с интервалом 0; 5; 10 и 15 градусов. Изменение расположения режущего аппарата до 15 градусов вызывает неравнозначность скоростей прямого и обратного хода ножа, а также увеличивает его с 76,2 до 89 мм, что повышает расход энергии на привод ножа до 17%. Недостатком дезаксиального кривошипно-шатунного механизма привода ножа является к тому же его динамическая неуравновешенность, которая только частично сглаживается установкой противовеса. Для устранения недостатков разработана экспериментальная косилка с аксиальным расположением КШМ на пальцевом брус режущего аппарата, позволяющая переводить пальцевой брус в транспортное положение в рабочем режиме режущего аппарата при объезде препятствий в виде кустарников, деревьев или грубых неровностей.

Ключевые слова: сегментно-пальцевая косилка, дезаксиал, кривошипно-шатунный механизм, механизм привода ножа, режущий аппарат, противовес

Для цитирования: Первушин В.Ф., Абдуллин Ф.М., Салимзянов М.З., Ипатов А.Г., Иванов А.Г. Сегментно-пальцевая косилка для скашивания естественных и сеяных трав в условиях малых форм хозяйствования // Агроинженерия. 2024. Т. 26, № 5. С. 16-21. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-16-21>

ORIGINAL ARTICLE

Segment-finger mower for cutting natural and artificially cultivated grasses in small-scale farming**V.F. Pervushin¹**, **F.M. Abdullin²**, **M.Z. Salimzyanov³**, **A.G. Ipatov⁴**, **A.G. Ivanov⁵**^{1,2,3,4,5} Udmurt State Agrarian University; Izhevsk, Russia¹ pervushin54@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0572-2080>³ salimmar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0877-4372>⁴ Ipatow.al@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2637-4214>⁵ ivalgen@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7111-7642>

Abstract. Segment-finger mowers are used mainly in forage harvesting. To improve their qualitative and operational indicators it is necessary to study the trajectory of movement, speed and acceleration of the mower knife under variable terrain conditions. For this purpose, the authors studied the influence of change of the non-axial value on qualitative and energy indicators of the mower's cutter bar. They also determined parameters and operating modes of the mower knife with the axial knife drive mechanism. According to the results of experimental studies, it was established that

while copying the field relief, the cutter bar changes the angle of inclination relative to the horizon within the limits of ± 15 degrees. In this case, the non-axial value varies between 0.281 and 0.492 m with a step of one degree. The change of the non-axial value entails the change of the stroke, speed, and acceleration of the knife. Using the analytical method of kinematic study of crank mechanisms according to Artobolevsky's procedure and performing calculations in the Excel software kit, the authors have obtained graphical relationships between the knife stroke and speed depending on the angular position of the cutter bar with the interval of 0, 5, 10, and 15. A change in the location of the cutter bar up to 15 degrees causes unequal speeds of the forward and reverse knife strokes, increasing it from 76.2 to 89 mm, which increases the energy consumption for the knife drive up to 17%. Another disadvantage of the non-axial crank mechanism of the knife drive is its dynamic unbalance, which is only partially smoothed with a counterweight. To eliminate the drawbacks, the authors have developed an experimental mower with axial arrangement of the crank mechanism on the finger bar of the cutter bar. The new design makes it possible to activate the transport position of the finger bar in the working mode of the cutter bar when bypassing such obstacles as bushes, trees, or rough bumps.

Keywords: segment-finger mower, non-axial, crank mechanism, knife drive mechanism, cutter bar, counterweight

For citation: Pervushin V.F., Abdullin F.M., Salimzyanov M.Z., Ipatov A.G., Ivanov A.G. Segment-finger mower for cutting natural and artificially cultivated grasses in small-scale farming. *Agricultural Engineering (Moscow)*. (In Russ.). 2024;26(5):16-21. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2024-5-16-21>

Введение

В сельском хозяйстве при заготовке кормов широкое применение получили сегментно-пальцевые косилки (КС-Ф-2,1Б, КС-2,1М, КФН-2,1 и др.), характеризующиеся простотой конструкции. Режущий аппарат приводится в действие кривошипно-шатунным механизмом (КШМ), который конструктивно выполнен с наличием дезаксиала ξ , то есть со смещением оси вращения кривошипа относительно плоскости движения ножа (рис. 1).

Теоретическим исследованиям процесса резания сегментно-пальцевых косилок посвящены работы многих отечественных и зарубежных авторов. Аналитические исследования в кинематике и динамике кривошипно-шатунных механизмов отражены в работах И.И. Артоболевского. Исследованиям по уравновешиванию сил инерций ножа режущего аппарата посвящены работы Е.С. Босого. Однако до настоящего времени не были изучены зависимости траекторий движения, скорости и ускорения ножа режущего

аппарата в условиях изменяющегося внешнего фактора как рельефа местности, которому подвергается режущий аппарат во время работы. При этом в теоретических исследованиях сегментно-пальцевых косилок прибегают к ряду допущений, которые на практике оказывают существенное влияние на качественные и эксплуатационные показатели косилок.

Цель исследований: повышение производительности и эксплуатационной надежности сегментно-пальцевой косилки.

Материалы и методы

При скашивании трав режущий аппарат совершает свободное копирование рельефа местности, которое сопровождается изменением величины дезаксиала кривошипно-шатунного механизма (рис. 2).

Серийно выпускаемые промышленностью сегментно-пальцевые косилки имеют следующие конструктивные параметры привода ножа^{1,2} [1, 6-8]:

- радиус кривошипа $r = 0,038 \dots 0,040$ м;
- длина шатуна $L = 0,95$ м = 25 г;

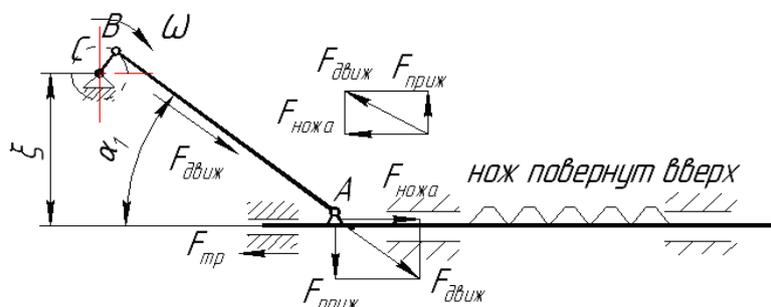


Рис. 1. Кривошипно-шатунный механизм серийных косилок. Схема работы

Fig. 1. Crank mechanism of serial mowers. Operation scheme

¹ Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1988. 636 с.

² Алокин Н.П. Анализ сил сопротивления движению ножа сегментно-пальцевого режущего аппарата с различными приводами механизмами // Вестник Челябинского государственного агроинженерного университета. 2006. Т. 48. С. 17-20.

- величина дезаксиала $h_0 = 0,266 \text{ м} = 7 \text{ r}$;
- угол наклона шатуна $\alpha = 16^\circ$.

В результате исследований режущего аппарата в процессе копирования установлено изменение угла наклона β в пределах $\pm 15^\circ$.

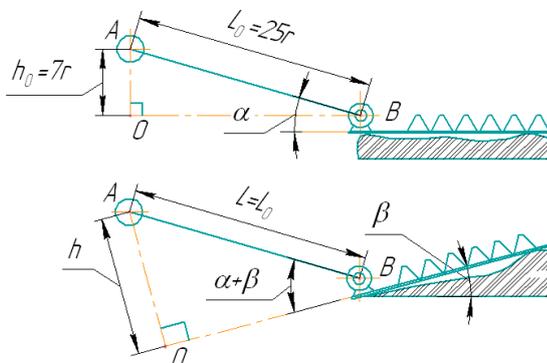


Рис. 2. Зависимость величины дезаксиала h от угла наклона β режущего аппарата

Fig. 2. Relationship between the non-axial value h and the cutter bar inclination angle β

Значения дезаксиала h в зависимости от угла расположения режущего аппарата β с шагом в 1 градус приведены в таблице.

Изменение величины дезаксиала влечет за собой изменение хода, скорости и ускорения ножа.

Используя аналитический метод кинематического исследования кривошипно-шатунных механизмов по Артоблевскому и выполнив расчеты в программе Excel, получили графические зависимости скорости ножа от углового расположения режущего аппарата β с интервалом 0; 5; 10 и 15 градусов (рис. 3).

Изменение расположения режущего аппарата до 15° вызывает неравнозначность скоростей прямого и обратного хода ножа, увеличивая ход ножа до 89 мм, что повышает затраты энергии по перемещению ножа до 17%.

К недостаткам дезаксиального кривошипно-шатунного механизма привода ножа относится также его динамическая неуравновешенность, которая частично сглаживается установкой противовеса (рис. 4).

Величина дезаксиала h в зависимости от угла наклона β режущего аппарата

Таблица

Deactivation value h depending on the cutter bar inclination angle β

Table

Угол β , град. Angle β , deg	Величина дезаксиала h , м Non-axial value h , m	Угол β , град. Angle β , deg	Величина дезаксиала h , м Non-axial value h , m	Угол β , град. Angle β , deg	Величина дезаксиала h , м Non-axial value h , m
1	0,281	6	0,359	11	0,435
2	0,297	7	0,375	12	0,449
3	0,313	8	0,390	13	0,464
4	0,328	9	0,405	14	0,478
5	0,344	10	0,420	15	0,492

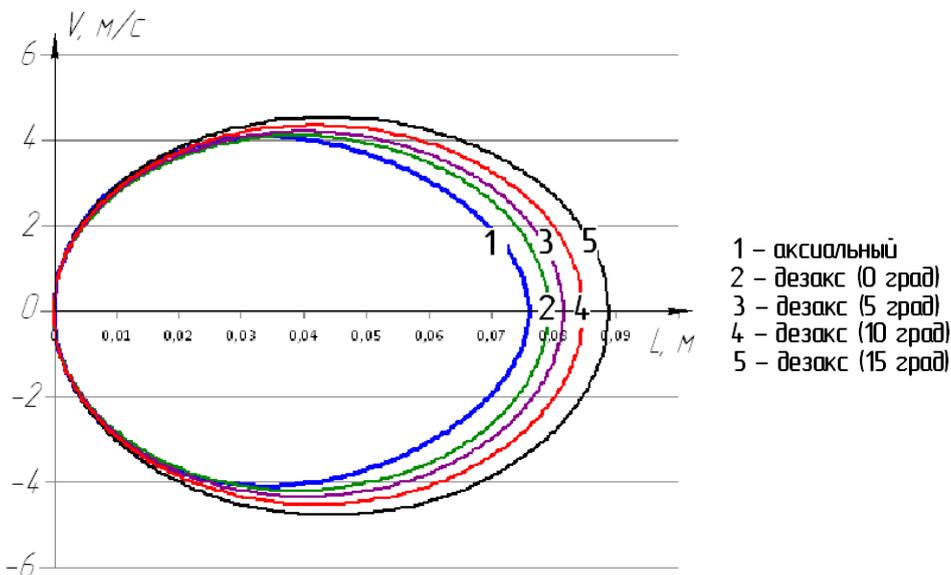


Рис. 3. Характер изменения скорости ножа от увеличения его хода при угловом расположении режущего аппарата
Fig. 3. Pattern of change in the knife speed depending on the increase in its stroke at the angular arrangement of the cutter bar

Место установки противовеса (угол φ) на кривошипе определяется согласно Е.С. Босому по формуле:

$$\varphi = \arctg \left[\beta \left(1 + 0,5\beta^2 + \frac{3}{8}\lambda^2 \right) \right],$$

где β – отношение дезаксиала к длине шатуна, h/L ; λ – отношение длины кривошипа к длине шатуна, r/L .

Из выражения следует, что угол установки противовеса φ зависит от значений дезаксиала h , длины шатуна L и радиуса кривошипа r . Изменение значения дезаксиала, вызванное текущим угловым положением режущего аппарата, определяет новое значение угла установки противовеса. Следовательно, противовес, изготовленный с фиксированным углом φ , не обеспечивает устойчивого уравнивания механизма привода ножа при копировании рельефа поля режущим аппаратом.

Фактически в условиях изменяющегося рельефа местности на привод ножа дезаксиальным кривошипно-шатунным механизмом затрачивается больше энергии. Выявленные недостатки привода ножа снижают эксплуатационную надежность и срок службы косилки.

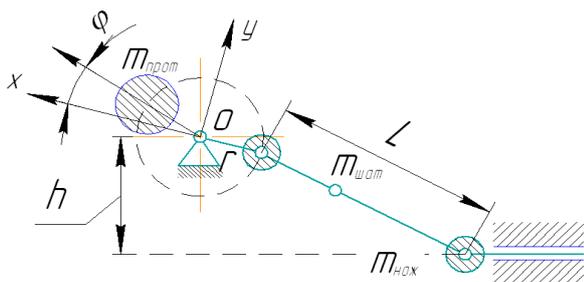


Рис. 4. Расположение противовеса кривошипа в дезаксиальном кривошипно-шатунном механизме привода ножа косилки

Fig. 4. Location of the crank counterweight in the non-axial crank mechanism of the mower knife drive mechanism

Результаты и их обсуждение

Для устранения указанных недостатков была разработана экспериментальная конструкция косилки с аксиальным расположением кривошипно-шатунного механизма привода режущего аппарата. Конструкция позволяет переводить пальцевый брус в транспортное положение без отключения ВОМ трактора (рис. 5) [3-5].

Экспериментальная косилка состоит из навесного устройства 1 (рис. 6), тяговой штанги 2, механизма подъема 3 и уравнивания 4 режущего аппарата 5, выполненного как одно целое с кривошипно-шатунным механизмом привода ножа 6, расположенного в полости внутреннего башмака 7, соединенного шарниром 8 с тяговой штангой 2.

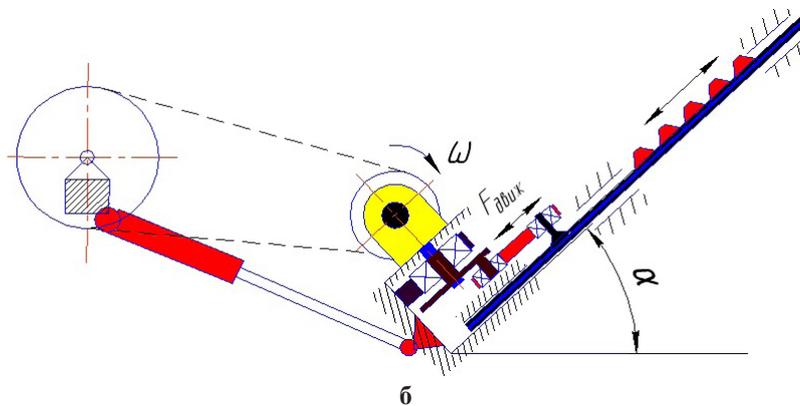
В состав режущего аппарата входят аксиальный КШМ 6 привода ножа, пальцевый брус 9, два башмака (внутренний 7 и наружный 10), отводная доска 11, нож 12, прижимные лапки 13, направляющие ножа 14, конический редуктор 15, клиноремная передача 16 и масляная полость 17.

Косилка работает следующим образом. При движении агрегата режущий аппарат выполняет срез растений на установленной башмаками высоте за счет шарнирного соединения 8 тяговой штанги с внутренним башмаком 7, обеспечивая копирование рельефа и допустимое удельное давление на почву за счет механизма уравнивания косилки 4. В рабочем положении режущего аппарата из масляной полости 17 внутреннего башмака 7 подается капельная смазка к направляющим ножа 14 [6-8].

Режущий аппарат переводится в транспортное положение гидроцилиндром 3, который поворачивает его вокруг оси 8 шарнирного соединения, соосного с валом редуктора 15. Окончательный перевод в транспортное положение производится навеской трактора.



а



б

Рис. 5. Косилка в транспортном положении режущего аппарата (а) и схема перевода режущего аппарата в транспортное положение (б)

Fig. 5. Mower in transport position of the cutter bar (a) and the procedure of activating the transport position of the cutter bar (b)

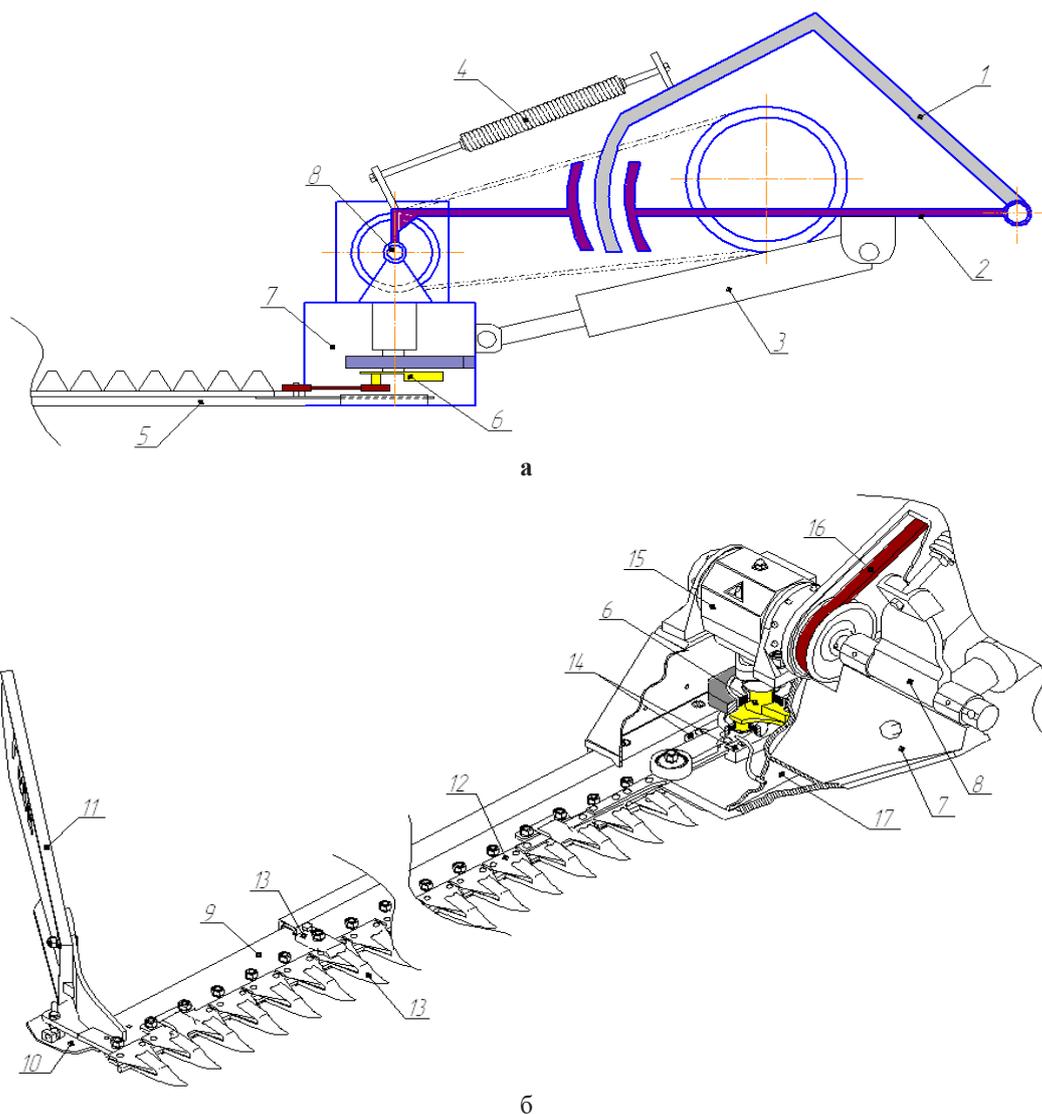


Рис. 6. Общая схема устройства (а) и 3D-модель режущего аппарата косилки с аксиальным расположением кривошипно-шатунного механизма (б):

- 1 – навесное устройство; 2 – тяговая штанга; 3 – гидроцилиндр; 4 – механизм подъема и уравнивания; 5 – режущий аппарат; 6 – аксиальный кривошипно-шатунный механизм привода ножа; 7, 10 – башмак внутренний и наружный; 8 – шарнирное соединение; 9 – пальцевый брус; 11 – отводная доска; 12 – нож; 13 – прижимные лапки; 14 – направляющие ножа; 15 – конический редуктор; 16 – клиноременная передача; 17 – масляная полость

Fig. 6. General scheme of the device (a) and 3D-model of the cutter bar of the mower with axial arrangement of the crank mechanism (b):

- 1 – attachment device; 2 – traction rod; 3 – hydraulic cylinder; 4 – lifting and balancing mechanism; 5 – cutter bar; 6 – axial crank mechanism of the knife drive; 7, 10 – inner and outer shoe; 8 – articulated joint; 9 – finger bar; 11 – diverter board; 12 – knife; 13 – presser feet; 14 – knife guides; 15 – conical reduction gear; 16 – V-belt gear; 17 – oil cavity

Конструктивные особенности экспериментальной косилки позволяют манипулировать работающим режущим аппаратом без отключения ВОМ трактора на участках, осложненных наличием кустарников, деревьев и других холмистых препятствий. Эти преимущества придают косилке повышенную производительность, маневренность и удобство в эксплуатации.

Выводы

1. Увеличение производительности сегментно-пальцевой косилкой достигается путем

сокращения времени на маневрирование, обкашивание различных препятствий в виде кустарников, деревьев и других холмистых участков, препятствующих работе косилки, а также за счет экономии времени на переезды с одного загона (участка) на другой.

2. Конструктивные особенности экспериментальной косилки позволяют выполнять скашивание естественных трав на крутых склонах и в логах со сложным рельефом местности, манипулируя работающим режущим аппаратом без отключения ВОМ трактора.

Список источников

1. Чайка В.П., Алдошин Н.В., Лылин Н.А. Перспективы развития конструкций режущих аппаратов // Чтения академика В.Н. Болтинского (115 лет со дня рождения): Сборник статей семинара; Под ред. М.Н. Ерохина. М.: Мегapolis, 2019. С. 49-56. EDN: WSEROW
2. Первушин В.Ф., Салимзянов М.З., Шакиров Р.Р., Касимов Н.Г., Абдулин Ф.М. Сегментно-пальцевая косилка с бездеаксиальным кривошипно-шатунным механизмом // Сельский механизатор. 2023. № 11. С. 12-13. EDN: WUHGEA
3. Первушин В.Ф., Салимзянов М.З., Касимов Н.Г., Широков В.И., Шинкаренко С.Р. Теоретические исследования процесса скашивания трав сегментно-пальцевой косилкой // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3 (67). С. 72-79. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2021_3_72
4. Первушин В.Ф., Левшин А.Г., Салимзянов М.З., Ипатов А.Г., Широков В.И. Классификация ротационных рабочих органов сельскохозяйственных машин и их траектории движения // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 3. С. 57-64. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-57-64>
5. Pervushin V.F., Salimzyanov M.Z., Ivanov A.G., Kostin A.V., Shklyayev K.L. Theoretical prerequisites for substantiating the parameters of a rotary ripper for interrow potato cultivation. *E3S Web of Conferences*, Bishkek, 2022. Bishkek: EDP Sciences. 2023;380:01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338001003>
6. Kalimullin M., Salimzyanov M., Pervushin V., Latypov R., Ayugin N., Sharipov R. Development and theoretical study of the impact of the working body on the soil. *BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources"*, Kazan, 2022;52:00056. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20225200056>
7. Kemper S., Lang T., Frerichs L. The overlaid cut in a disc mower – results from field tests and simulation. *Landtechnik*. 2014;69(4):171-175.
8. Pirchio M. et al. Autonomous mower vs. rotary mower: effects on turf quality and weed control in tall fescue lawn. *Agronomy*. 2018;8(2):15. <https://doi.org/10.3390/agronomy8020015>

Информация об авторах

Владимир Федорович Первушин^{1✉}, д-р техн. наук, профессор; pervushin54@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-0572-2080>

Фаниль Мансурович Абдуллин², соискатель, канд. техн. наук

Марат Зуфарович Салимзянов³, канд. техн. наук, доцент; salimmar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0877-4372>

Алексей Геннадьевич Ипатов⁴, канд. техн. наук, доцент; Ipatow.al@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2637-4214>

Алексей Генрихович Иванов⁵, канд. техн. наук, доцент; ivalgen@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7111-7642>

^{1,2,3,4,5} Удмуртский государственный аграрный университет; Россия, Удмуртская Республика, 426059, г. Ижевск, ул. Студенческая, д. 11.

Вклад авторов

В.Ф. Первушин – руководство исследованием, создание окончательной версии (доработка) рукописи и ее редактирование; Ф.М. Абдуллин – проведение исследований; М.З. Салимзянов – создание черновика рукописи; А.Г. Ипатов – концептуализация и формальный анализ; А.Г. Иванов – программное обеспечение и верификация данных.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила в редакцию 12.03.2024; поступила после рецензирования и доработки 01.04.2024; принята к публикации 05.04.2024

References

1. Chaika V.P., Aldoshin N.V., Lylin N.A. Prospects for the development of cutter equipment. Readings devoted to Academician V.N. Boltinsky (115th Anniversary of the scientist): Seminar proceedings; Ed. by M.N. Erokhin. Moscow, Megapolis, 2019. Pp. 49-56. (In Russ.)
2. Pervushin V.F., Salimzyanov M.Z., Shakirov R.R., Kasimov N.G., Abdulin F.M. Segment-tine mower with non-axial crank mechanism. *Selskiy Mekhanizator*. 2023;11:12-13. (In Russ.)
3. Pervushin V.F., Salimzyanov M.Z., Kasimov N.G., Shirobokov V.I., Shinkarenko S.R. Theoretical studies of the process of grass mowing by segmented-finger mower. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2021;3(67):72-79. (In Russ.) https://doi.org/10.48012/1817-5457_2021_3_72
4. Pervushin V.F., Levshin A.G., Salimzyanov M.Z., Ipatov A.G., Shirobokov V.I. Classification of rotary cultivation tools of agricultural machines and their motion trajectories. *Agricultural Engineering (Moscow)*. 2023;25(3):57-64. (In Russ.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-57-64>
5. Pervushin V.F., Salimzyanov M.Z., Ivanov A.G., Kostin A.V., Shklyayev K.L. Theoretical prerequisites for substantiating the parameters of a rotary ripper for interrow potato cultivation. *E3S Web of Conferences*, Bishkek, 2022. Bishkek: EDP Sciences. 2023;380:01003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338001003>
6. Kalimullin M., Salimzyanov M., Pervushin V., Latypov R., Ayugin N., Sharipov R. Development and theoretical study of the impact of the working body on the soil. *BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources"*, Kazan, 2022;52:00056. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20225200056>
7. Kemper S., Lang T., Frerichs L. The overlaid cut in a disc mower – results from field tests and simulation. *Landtechnik*. 2014;69(4):171-175.
8. Pirchio M. et al. Autonomous mower vs. rotary mower: effects on turf quality and weed control in tall fescue lawn. *Agronomy*. 2018;8(2):15. <https://doi.org/10.3390/agronomy8020015>

Author Information

Vladimir F. Pervushin^{1✉}, DSc (Eng), Professor; pervushin54@mail.ru[✉]; <https://orcid.org/0000-0003-0572-2080>

Fanil M. Abdullin², co-researcher, Ph. Sci.

Marat Z. Salimzyanov³, CSc (Eng), Associate Professor; salimmar@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0877-4372>

Aleksey G. Ipatov⁴, CSc (Eng), Associate Professor; Ipatow.al@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2637-4214>

Aleksey G. Ivanov⁵, CSc (Eng), Associate Professor; ivalgen@inbox.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7111-7642>

^{1,2,3,4,5} Udmurt State Agrarian University; Russia, Udmurt Republic, 426059, Izhevsk, 11, Studencheskaya Str.

Author Contribution

V.F. Pervushin – research supervision, finalizing (revising and editing) of the manuscript; F.M. Abdullin – investigation; M.Z. Salimzyanov – writing – original draft preparation; A.G. Ipatov – conceptualization and formal analysis; A.G. Ivanov – software and data verification.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests and are responsible for plagiarism

Received 12.03.2024; Revised 01.04.2024; Accepted 05.04.2024.