

7. Deichmann U., Goyal A. and Mishra D. Will digital technologies transform agriculture in developing countries? *Agricultural Economics*, 2016; 47: 21-33. <https://doi.org/10.1111/agec.12300>

8. Grishin A.A., Grishin A.P., Dorokhov A.S. et al. Markety obrazets modul'noy tsifrovoy klimaticheskoy kamery [Prototype of a modular digital climate camera]. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*, 2019; 4 (33): 114-123. (In Rus.)

9. Chen Y., Li Y., Li C. Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application. *Journal of cleaner production*, 2020; 268: 122071. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122071

10. Fountas S., Garcia B., Kasimati A. et al. The Future of Digital Agriculture: Technologies and Opportunities. *IT Professional*, 2020; 22: 24-28. 10.1109/MITP.2019.2963412.

11. Ivanov K.K. Apparatusnye i programmnye sredstva sistem real'nogo vremeni [Hardware and software products for real-time systems]. *Molodoy ucheniy*. 2017; 19: 27-29. URL: <https://moluch.ru/archive/153/43312/> (Access date: 11.11.2019). (In Rus.)

8. Гришин А.А., Гришин А.П., Дорохов А.С. и др. Маркетный образец модульной цифровой климатической камеры // *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. № 4 (33). С. 114-123.

9. Chen Y., Li Y., Li C. Electronic agriculture, blockchain and digital agricultural democratization: Origin, theory and application. September 2020. *Journal of cleaner production* 268: 122071. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122071.

10. Fountas S., Garcia B., Kasimati A. et al. The Future of Digital Agriculture: Technologies and Opportunities. *IT Professional*, 2020; 22: 24-28. 10.1109/MITP.2019.2963412.

11. Иванов К.К. Аппаратные и программные средства систем реального времени // *Молодой ученый*. 2017. № 19. С. 27-29. URL: <https://moluch.ru/archive/153/43312/> (дата обращения: 11.11.2019).

#### Contribution

I.A. Starostin, M.E. Belyshkina, N.O. Chilingaryan, A.Yu. Alipichev performed theoretical studies, and based on the results obtained, generalized the results and wrote a manuscript. I.A. Starostin, M.E. Belyshkina, N.O. Chilingaryan, A.Yu. Alipichev 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 paper was received on 23.11.2020

Approved after reviewing on 25.03.2021

Accepted for publication on 26.03.2021

#### Критерии авторства

Старостин И.А., Бельшкіна М.Е., Чилингарян Н.О., Алипичев А.Ю. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели обобщение и подготовили рукопись. Старостин И.А., Бельшкіна М.Е., Чилингарян Н.О., Алипичев А.Ю. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 23.11.2020 г.

Одобрена после рецензирования 25.03.2021 г.

Принята к публикации 26.03.2021 г.

#### ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 631.352.022

DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-10-18

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДИФИЦИРОВАННОГО РАБОЧЕГО ОРГАНА КОМБИНИРОВАННОЙ РОТАЦИОННОЙ КОСИЛКИ

**АЛДОШИН НИКОЛАЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**✉, д-р техн. наук, профессор<sup>1</sup>  
naldoshin@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>

**ВАСИЛЬЕВ АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ**, канд. с.-х. наук, доцент<sup>2</sup>  
vasilevtgsha@mail.ru

**КУДРЯВЦЕВ АНДРЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**, канд. техн. наук, доцент<sup>2</sup>  
akud@tvgscha.ru

**ГОЛУБЕВ ВЯЧЕСЛАВ ВИКТОРОВИЧ**, д-р техн. наук, профессор<sup>2</sup>  
vgolubev@tvgscha.ru

<sup>1</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

<sup>2</sup> Тверская государственная сельскохозяйственная академия; 170904, Российская Федерация, г. Тверь, пос. Сахарово, ул. Василевского, 7

**Аннотация.** В настоящее время на рынке практически отсутствуют средства механизации, объединяющие операционно за один проход удаление (скашивание) растительности и выравнивающее рыхление верхнего почвенного слоя с измельчением расположенных в нем корневых систем. Цель работы – осуществить теоретический расчет модифицированной конструкции

рабочего органа комбинированной ротационной косилки, а также провести его лабораторные и полевые исследования. Комплексные исследования выполнялись с применением оборудования кафедры технологических и транспортных машин и комплексов, кафедры технологии переработки и хранения сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО Тверская ГСХА и известных методик осуществления экспериментальных исследований. В ходе теоретических исследований определены основные параметры нового рабочего органа, позволяющего осуществлять за один проход два технологических процесса: кошение травянистой растительности и резание с рыхлением верхнего слоя почвы (0...10 см). На основании полученных данных изготовлен работоспособный макетный образец рабочего органа. При испытании в лабораторных условиях вне зависимости от эксплуатационных режимов и исходного состояния обрабатываемой почвы по абсолютной влажности и насыщенности корневыми остатками наблюдалось улучшение её агрофизических свойств. Выявлено, что оптимальный уровень абсолютной влажности для воздействия рабочего органа на почвах легкосуглинистого гранулометрического состава составлял 20%, когда при всех значениях насыщенности почвы корневыми остатками отмечались наилучшие показатели оструктуренности и плотности, составившие в среднем 2,24 ед. и 1,26 г/см<sup>3</sup>. Установлено, что при малых рабочих скоростях целесообразно использовать более высокую частоту вращения рабочего органа (на уровне 150 мин<sup>-1</sup>), в то же время при увеличении скорости частоту вращения следует уменьшить (до уровня 110 мин<sup>-1</sup>). В результате полевых опытов получены данные о целесообразности использования нового рабочего органа, обеспечивающего эффективное кошение травянистой растительности (чистота среза стеблей составляет 95,6%) и рыхление поверхностного слоя почвы (0...10 см), с увеличением коэффициента структурности на 26,8% при оптимизации плотности и измельчении корневых систем. В дальнейшем предполагается разработать и изготовить работоспособную конструкцию опытного образца ротационной комбинированной косилки, сочетающую в себе оптимальную энергоёмкость выполнения и требуемое качество технологических процессов.

**Ключевые слова:** рабочий орган, кошение, поверхностная обработка почвы, улучшение кормовых угодий, структура почвы.

**Формат цитирования:** 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. DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-10-18.

© Алдошин Н.В., Васильев А.С., Кудрявцев А.В., Голубев В.В., 2021



## ORIGINAL PAPER

# RESEARCH RESULTS OF THE MODIFIED WORKING TOOL OF THE COMBINED ROTARY MOWER

**NIKOLAY V. ALDOSHIN**✉, *DSc (Eng), Professor*<sup>1</sup>

naldoshin@yandex.ru✉, <https://orcid.org/0000-0002-0446-1096>

**ALEKSANDR S. VASILIEV**, *PhD (Eng), Associate Professor*<sup>2</sup>

vasilevtgsha@mail.ru

**ANDREY V. KUDRYAVTSEV**, *PhD (Ag), Associate Professor*<sup>2</sup>

akud@tvgscha.ru

**VYACHESLAV V. GOLUBEV**, *DSc (Eng), Professor*<sup>2</sup>

vgolubev@tvgscha.ru

<sup>1</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 127550, Russian Federation, Moscow, Timiryazevskaya Str., 49

<sup>2</sup> Tver State Agricultural Academy; 170904, Russian Federation, Tver, Sakharovo settlement, Vasilevskogo Str., 7

**Abstract.** Currently, there are practically no mechanization tools on the market that combine grass removal (mowing) and the levelling loosening of the upper soil layer, while cutting the root systems contained in the soil in one pass. The purpose of the study was to provide a theoretical rationale of the modified design of the working tool of the combined rotary mower, as well as to conduct its laboratory and field studies. Complex theoretical, laboratory and field studies were carried out using the equipment of the Department of Technological and Transport Machines and Complexes, the Department of Technology of Processing and Storage of Agricultural Products of Tver State Agricultural Academy and recognized methods of experimental research. In the course of theoretical studies, the main parameters of the new working tool were determined, which enabled two technological processes to be carried out in one pass: grass mowing and cutting with loosening of the top soil layer (0...10 cm). On the basis of the obtained data, a workable model of the working tool was designed. When tested in laboratory conditions, regardless of the operating modes and the initial state of the cultivated soil, improved agrophysical properties were observed in terms of absolute humidity and saturation with root residues. It was found that the most optimal level of absolute humidity for the impact of the working tool on soils of light-loamy granulometric composition was 20%, while the best structural and density indicators were observed at all values of soil saturation with root residues; they averaged 2.24 units and 1.26 g/cm<sup>3</sup>. It has been established that at low operating speeds, it is advisable to use a higher rotation speed of the working tool (at 150 rpm), at the same time, with an increase in speed,

the speed of rotation should be reduced (to 110 rpm). As a result of field experiments, convincing data were obtained on the feasibility of using a new working tool that provides effective mowing of grassland vegetation (the purity of the stem cut is 95.6%) and loosening of the surface layer of the soil (0...10 cm), increasing the structural coefficient by 26.8% while optimizing the density and grinding of root systems. The next stages of the study include developing and manufacturing a workable design of a combined rotary mower prototype that ensures the optimal energy intensity of performance and the required quality of technological processes.

**Key words:** working tool, mowing, surface tillage, improvement of forage lands, soil structure.

**For citation:** Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V., Golubev V.V. Research results of the modified working tool of the combined rotary mower. *Agricultural Engineering*, 2021; 3 (103): 10-18 (In Rus.). DOI: 10.26897/2687-1149-2021-3-10-18.

**Введение.** Важнейшей задачей аграрного производства на всем этапе его развития является повышение эффективности использования сельскохозяйственных угодий [1, 2]. Особое место среди них занимают сенокосы и пастбища, являющиеся основным источником высококачественных объемистых кормов для животноводства и занимающие в Центральном Нечерноземье России порядка 5,6 млн га [3]. Большая часть данных угодий характеризуется низкой продуктивностью (на уровне 1,0 т/га сухой фитомассы), что требует проведения работ по их улучшению<sup>1</sup> [1-3]. Кроме того, в регионе имеется значительный объем неиспользуемых сельскохозяйственных угодий разной степени деградированности, составляющий, по экспертным оценкам, более 7,5 млн га<sup>2</sup>. К числу наиболее прогрессирующих видов негативной трансформации земель относится зарастание высокостебельной сорной растительностью – в частности, видами борщевика (*Heracleum sosnowskyi* Manden., *Heracleum sibiricum* L., *Heracleum sphondylium* L.), обладающими высокими конкурентными и адаптивными свойствами [4]. Такие огромные земельные ресурсы являются важным резервом увеличения валовых объемов наиболее востребованных рынком видов растениеводческой продукции<sup>2</sup>. Вместе с тем эффективная эксплуатация земель возможна только при использовании соответствующего современного машинно-технологического обеспечения [1, 2, 5, 6].

В настоящее время на рынке практически отсутствуют средства механизации, объединяющие операционно за один проход удаление (скашивание) растительности и выравнивающее рыхление верхнего почвенного слоя с измельчением расположенных в нем корневых систем. Данный прием наиболее востребован в системе улучшения кормовых угодий с целью омоложения травостоев, а также в системе ввода в эксплуатацию неиспользуемых сельскохозяйственных земель – в частности, подвергшихся инвазии борщевика<sup>2</sup>. Исходя из критериев определенного технологического воздействия на почву и растения наиболее перспективными для изучения представляются бесподпорные режущие аппараты с вертикальной осью вращения, теоретическое обоснование условий функционирования которых впервые было рассмотрено академиком В.П. Горячкиным<sup>3</sup>. Главным достоинством режущих аппаратов бесподпорного типа является конструк-

тивное отсутствие возвратно-поступательных движущихся частей [5]. Создание новых высокоэффективных машин и рабочих органов для решения обозначенных выше задач является важным и своевременным, требующим от науки оперативного проведения специальных исследований.

**Цель работы:** исследование рабочего органа комбинированной ротационной косилки для улучшения пастбищ и сенокосов.

**Методика исследований.** Исследования выполнялись с применением оборудования и известных методик проведения экспериментов<sup>4</sup> [7-10].

В рамках теоретического обоснования исследований был выполнен расчет конструктивных параметров ножа косилки. Так, основным параметром является длина его рабочей части « $l_n$ », зависящая от максимальной подачи « $h_{max}$ » на нож за один оборот диска. От подачи зависит продольный отгиб диском стеблей растений, поэтому для предотвращения возможности такого отгиба необходимо выполнить условие (1):

$$h_{max} < l_n, \quad (1)$$

где  $h_{max}$  – максимальная подача за один ход ножа, мм;  $l_n$  – длина рабочей части ножа, мм.

Если принимать, что расчетная подача будет максимальной, то длина рабочей части ножа составит  $l_n = 160$  мм.

Общая длина ножа « $l$ , мм» определяется из выражения:

$$l = l_n + l_0,$$

где  $l_0$  – длина ножа, необходимая для его шарнирного соединения с диском, равная 50...70 мм.

После подстановки значения имеем

$$l = 160 + 70 = 230 \text{ мм.}$$

По полученному расчетному значению общей длины выбираем размеры ножа согласно ГОСТ 3496-74<sup>4</sup> (рис. 1).

Согласно расчетам и стандарту длина ножа ( $l$ ) составит 230 мм, толщина ножа ( $s$ ) – 5 мм. Радиус диска для установки рассчитанного ножа, на основании ГОСТ 3496-74 [10], принимается равным 250 мм.

Для осуществления качественного среза и снижения количества двойных проходов, с учётом расчетной зоны перекрытия режущих элементов следует выполнить анализ взаимодействия рабочего органа с обрабатываемым материалом. При работе многодисковых косилок или нескольких проходов необходимо, чтобы траектории режущих элементов соседних дисков перекрывались для исключения несрезанных участков травы. Значение

<sup>1</sup> Методика эффективного освоения многовариантных технологий улучшения сенокосов и пастбищ в Северном природно-экономическом районе. М.: Угрешская типография, 2015. 68 с.

<sup>2</sup> Методика эффективного освоения разновозрастных залежей на основе многовариантных технологий под пастбища и сенокосы и очередности возврата их в пашню в Нечерноземной зоне РФ / ФГБНУ ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса. М.: ООО «Угрешская типография», 2017. 64 с.

<sup>3</sup> Горячкин В.П. Собр. соч. Изд. 2-е. Т. 3. М.: Колос, 1968. 384 с.

<sup>4</sup> ГОСТ 3496-74. Прижимы ножа и прокладки режущих аппаратов сельскохозяйственных машин. Технические условия, с изм. № 1, 2, 3. М.: Издательство стандартов, 1986. 22 с.

перекрытия режущих элементов в многодисковых косилках определяют по выражению (2) [7]:

$$\Delta = 2R \cdot \left(1 - \frac{V_m}{\omega}\right)^2 - \left[ \left(1 - \frac{V_m}{\omega}\right)^4 - \left( \left( \frac{\pi \cdot V_m}{\omega} \right)^2 \frac{1}{Z} \right)^2 \right]^{1/2}, \quad (2)$$

где  $V_m$  – поступательная скорость косилки, м/с;  $R$  – радиус секции косилки по наружной точке вращения ножей, м;  $\omega$  – окружная скорость вращения инновационного рабочего органа, с<sup>-1</sup>;  $Z$  – количество рабочих органов на одной секции косилки, шт.

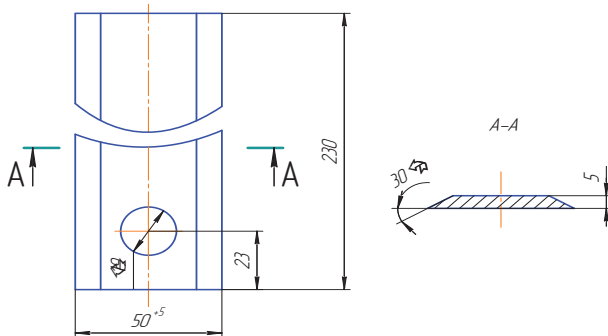


Рис. 1. Размерные характеристики инновационного рабочего органа

Fig. 1. Dimensional characteristics of the innovative working tool

На основании известных значений радиуса, скорости машины, угловой скорости и количества ножей на режущих аппаратах определим значение перекрытия:

$$\Delta = 2 \cdot 0,66 \cdot \left[ \left(1 - \frac{2,5}{95,76}\right)^2 - \left(1 - \frac{2,5}{95,76}\right)^4 - \left( \frac{(3,14 \cdot 2,5)^2}{95,76} \right)^2 \right]^{1/2} = 1,24 - \sqrt{0,89 - 0,007} = 0,3 \text{ м.}$$

Величина перекрытия по выполненным расчетам составила 300 мм. Данная величина приемлема для значительных сельскохозяйственных площадей – более 1,0 га. Однако она является высокой для малогабаритных косилок, следовательно, принимается, что перекрытие на участках закрытого и открытого грунтов можно снизить до двух раз и принять в пределах 150 мм.

Для определения площади, срезаемой ножом за один оборот диска, используется выражение (3):

$$F = \frac{2 \cdot \pi \cdot V_m \cdot R (\cos \theta_k - \cos \theta_n)}{\omega \cdot Z}, \quad (3)$$

где  $\theta_k$  и  $\theta_n$  – углы соответственно начала и конца резания, град., определяемые по выражению (4);

$$\theta_n = \arccos \left( \frac{h}{2 \cdot R} \right) - \left( \frac{\frac{\pi \cdot V_m}{\omega}}{Z \cdot \left( h + \frac{2V_m}{\omega} \right)} \right) + \pi, \quad (4)$$

где  $\theta_k = 3\pi - \theta_n$ .

Определим угол начала резания из выражения, подставив известные величины:

$$\theta_n = \arccos \left( \frac{0,16}{2 \cdot 0,66} \right) - \left( \frac{\frac{3,14 \cdot 2,5}{95,76}}{1 \cdot \left( 0,16 + \frac{2 \cdot 2,5}{95,76} \right)} \right) + 3,14 = 83,04^\circ - 0,385 \cdot \frac{180^\circ}{3,14} + 180^\circ = 84,84^\circ - 22,11^\circ + 180^\circ = 242,7^\circ.$$

Тогда

$$\theta_k = 3\pi - \theta_n = 3 \cdot 180 - 242,7 = 297,2^\circ.$$

Подставляя в исходное выражение, можно записать:

$$F = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \cdot 0,66 \cdot (\cos 297,2 - \cos 247,2)}{95,76 \cdot 1} = \frac{10,36 \cdot (0,42 - (-0,39))}{95,76} = \frac{8,39}{95,76} = 0,08 \text{ м}^2.$$

Площадь, срезаемая ножом за один оборот диска, составила 0,08 м<sup>2</sup>. Для визуальной оценки теоретического взаимодействия режущего аппарата с обрабатываемым материалом необходимо построить траектории движения двух ножей, следующих один за другим, используя графический метод. Для построения траектории абсолютного движения конца лезвия ножа неподвижную систему координат располагают следующим образом: начало координат размещают в центре ротора и за положительное направление оси «X» принимают направление поступательного перемещения машины, ось «Y» направляют вертикально вверх через центр ротора. В выбранном масштабе вычерчивается окружность радиусом «R» и «r<sub>0</sub>». От исходного положения (оси ротора) следует отложить в масштабе «L» в направлении движения машины. Для определения «L» используется формула:

$$L = V_m \cdot T = V_m \left( \frac{2\pi}{\omega} \right) = 2,5 \cdot \left( \frac{2 \cdot 3,14}{95,76} \right) = 0,16 \text{ м.}$$

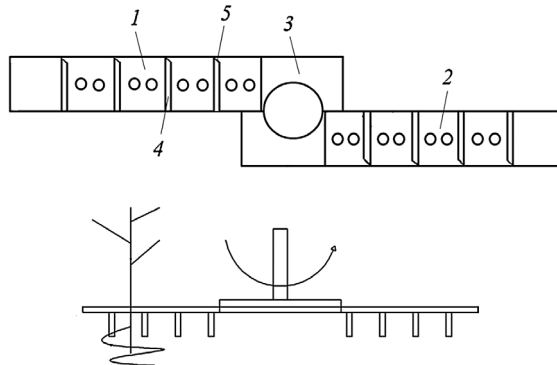
Отмеченное расстояние «L» и окружность радиусом «R» делятся на 12 одинаковых участков. Точки нумеруются. Из точек на окружности проводятся тонкие линии параллельно горизонтальной оси, а затем из точек окружности отмечаются точки, по которым строится траектория (циклоида). Схема траектории показана на рисунке 2.

Производится построение только одной правой (рабочей) ветви циклоиды. Вторая часть ветви показана неполностью. Траекторию второй точки прямолинейного лезвия ножа осуществляют аналогично, используя радиус «r<sub>0</sub>». Для построения траектории второго ножа (а в данном случае – следующего хода одного ножа), расположенного на этом же диске, используют значение подачи на нож «h». В направлении перемещения машины от точек построенной циклоиды откладывают в принятом масштабе отрезки, равные «h», и по полученным точкам строят циклоиды второго ножа.

Теоретическое обоснование почворежущего рабочего органа выполнено на основании исследований М.Н. Чаткина, описавшего процесс кинематики и динамики ротационных почвообрабатывающих рабочих органов [8].



Данный тип почв, наряду с супесчаными, свойствен как для Центрального Нечерноземья в целом, так и Тверской области – в частности. Насыщение почвы корневыми остатками и влагой до установленных методической программой исследований уровней проводилось искусственно. Определение абсолютной влажности почвы, её плотности, задержности и структуры осуществлялось в соответствии с требованиями ГОСТ 20915-2011<sup>5</sup> в пятикратной повторности.



**Рис. 5. Полисегментный рабочий орган:**

- 1, 2 – режущие полотна рабочего органа косилки;
- 3 – узел крепления рабочего органа;
- 4 – Г- или П-образные почворежущие ножи;
- 5 – рабочая режущая кромка ножа с углом заточки 15°

**Fig. 5. Multi-segment working tool:**

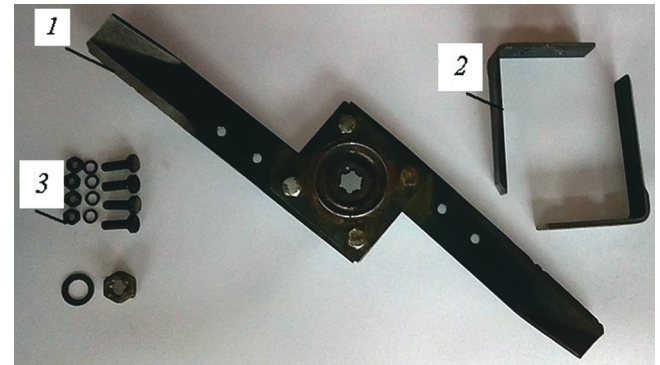
- 1, 2 – cutting blades of the working tool of a mower;
- 3 – attachment point of the working tool;
- 4 – L- or U-shaped soil-cutting knives;
- 5 – working cutting edge of a knife with a sharpening angle of 15°

Полевой опыт проводили на опытном поле УНИПЦ «Агротехнопарк» Тверской ГСХА на многолетнем бобово-мятликовом травостое сенокосного направления использования, засоренном отдельными растениями борщевика Сосновского. Почва опытного участка дерново-среднеподзолистая супесчаная. Для полевых исследований между прокосами, сделанными ротационной косилкой КРН-2,1, агрегируемой с трактором МТЗ-82.1, были выделено 6 прямоугольных участков размером 2 м<sup>2</sup> каждый. Далее каждый участок был однократно обработан экспериментальным рабочим органом, установленным на мотоблок Нева МБ-23 Н. Мятликовые растения в период кошения находились в фазе колошения, бобовые – в фазе бутонизации, что соответствует оптимальным параметрам для заготовки большинства кормов. Высота среза растительности при кошении, например, для распространенной косилки КРН-2,1 согласно технической документации, составляет на естественных травостоях 6±2, на сеяных – 8±2 см. Указанные значения распространяются и на многие другие модели ротационных косилок. В связи с указанным для более конкретного выделения градаций эффективности кошения различными рабочими органами авторы воспользовались диапазонами значений (<10, 10...15, >15 см), предложенными В.В. Красовским [5]. Непосредственно высоту среза

<sup>5</sup> ГОСТ 20915-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Методы определения условий испытаний. М.: Стандартинформ, 2013. 27 с.

растений и влажность скашиваемой массы в опытах определяли по ГОСТ 28722-2018<sup>6</sup>.

**Результаты исследований.** Выполненные теоретические исследования послужили основой для изготовления опытных образцов и их последующих экспериментальных исследований в лабораторных и полевых условиях. На рисунке 6 представлен вариант нового рабочего органа в моносегментном исполнении с Г-образными почворежущими ножами.



**Рис. 6. Модифицированный рабочий орган:**

- 1 – режущий элемент для кошения;
- 2 – режущий элемент для обработки почвы и резания корневой системы;
- 3 – элементы крепления

**Fig. 6. Modified working tool:**

- 1 – cutting element for mowing;
- 2 – cutting element for soil tillage and cutting the root system;
- 3 – fastening elements

Работа предложенной конструкции нового рабочего органа осуществляется посредством установки на малогабаритную технику: например, на мотоблок Нева МБ-23 Н или тракторы тягового класса до 1,4 (Агромаш-30 ТК, Т – 25 А и др.).

Результаты выполненных лабораторных исследований изготовленного образца нового рабочего органа показали эффективность его использования для поверхностной обработки почвы (табл. 1). Так, после механического воздействия отмечалось улучшение агрегатного состава и плотности почвы, что в свою очередь будет обеспечивать оптимизацию водно-воздушного режима зоны развития корневых систем растений, способствуя росту минерализации органических остатков и размножению корневищных трав в системе омоложения кормовых угодий, а также измельчению зоны расположения почек возобновления роста при обработке участков, занятых борщевиком. Рациональным уровнем влажности почвы является 20%.

В этом случае при различной насыщенности почвы корневыми остатками отмечались наилучшие показатели оструктуренности и плотности, составившие в среднем 2,24 ед. и 1,26 г/см<sup>3</sup>. Установлено, что при малых рабочих скоростях целесообразно использовать более высокую частоту вращения комбинированного рабочего органа (на уровне 150 мин<sup>-1</sup>). В то же время при увеличении скорости частоту вращения следует уменьшить до уровня 110 мин<sup>-1</sup>.

<sup>6</sup> ГОСТ 28722-2018. Техника сельскохозяйственная. Косилки и косилки-плющилки. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2019. 32 с.

Таблица 1

Параметры воздействия моноsegmentного рабочего органа на почву (слой – 0...10 см) при изменении режима работы, абсолютной влажности почвы и степени насыщения её корневыми остатками

Table 1

Parameters of the impact of a single-segment working tool on the soil (a layer of 0 ... 10 cm) when changing the operating mode, absolute soil moisture and the amount of root residues

Количество корневых остатков, г/дм <sup>3</sup> Amount of root residues, g/dm <sup>3</sup>	Скорость движения, м/с (км/ч) Travel speed, m/s (km/h)	Частота вращения, мин <sup>-1</sup> Rotation frequency, min <sup>-1</sup>	Влажность почвы, % / Soil moisture, %								
			16		18		20		22		
			Коэффициент структурности, ед. Structural coefficient, units	Плотность, г/см <sup>3</sup> Density, g/cm <sup>3</sup>	Коэффициент структурности, ед. Structural coefficient, units	Плотность, г/см <sup>3</sup> Density, g/cm <sup>3</sup>	Коэффициент структурности, ед. Structural coefficient, units	Плотность, г/см <sup>3</sup> Density, g/cm <sup>3</sup>	Коэффициент структурности, ед. Structural coefficient, units	Плотность, г/см <sup>3</sup> Density, g/cm <sup>3</sup>	
2	До воздействия Before exposure		1,34	1,37	1,40	1,35	1,52	1,32	1,50	1,34	
	0,3 (1,08)	110	1,47	1,35	1,82	1,36	2,05	1,27	1,74	1,32	
		130	1,53	1,28	1,93	1,27	2,17	1,20	1,86	1,26	
		150	1,69	1,23	2,03	1,20	2,31	1,13	2,06	1,23	
	0,6 (2,16)	110	1,44	1,31	1,87	1,27	2,04	1,22	1,80	1,30	
		130	1,60	1,28	2,03	1,24	2,20	1,18	2,02	1,20	
		150	1,49	1,30	1,85	1,31	2,13	1,21	1,88	1,28	
	0,9 (3,24)	110	1,75	1,30	1,80	1,32	2,23	1,18	1,98	1,25	
		130	1,66	1,33	1,94	1,29	2,07	1,23	1,76	1,28	
		150	1,58	1,35	1,75	1,33	1,94	1,29	1,67	1,32	
	4	До воздействия Before exposure		1,53	1,44	1,71	1,43	1,83	1,39	1,77	1,41
		0,3 (1,08)	110	1,62	1,43	1,97	1,40	2,14	1,34	2,02	1,40
130			1,76	1,36	2,11	1,33	2,29	1,26	2,16	1,33	
150			1,88	1,31	2,27	1,25	2,45	1,19	2,24	1,27	
0,6 (2,16)		110	1,60	1,42	1,97	1,31	2,17	1,26	1,93	1,35	
		130	1,81	1,36	2,13	1,30	2,31	1,21	2,17	1,29	
		150	1,66	1,39	1,90	1,35	2,23	1,25	2,04	1,33	
0,9 (3,24)		110	1,80	1,38	2,14	1,33	2,36	1,22	2,17	1,29	
		130	1,94	1,39	2,01	1,36	2,15	1,27	2,07	1,32	
		150	1,71	1,43	1,96	1,40	2,09	1,28	1,92	1,34	
6		До воздействия Before exposure		1,60	1,49	1,82	1,46	2,06	1,42	1,94	1,45
		0,3 (1,08)	110	1,79	1,48	2,06	1,46	2,22	1,39	2,10	1,44
	130		1,92	1,43	2,16	1,38	2,36	1,30	2,19	1,36	
	150		2,01	1,38	2,33	1,33	2,57	1,24	2,31	1,30	
	0,6 (2,16)	110	1,83	1,44	2,17	1,40	2,29	1,33	2,07	1,38	
		130	1,97	1,41	2,24	1,36	2,47	1,25	2,30	1,33	
		150	1,75	1,45	2,03	1,41	2,31	1,29	2,12	1,36	
	0,9 (3,24)	110	1,94	1,43	2,07	1,40	2,51	1,27	2,30	1,34	
		130	2,05	1,43	2,23	1,39	2,26	1,31	2,14	1,35	
		150	1,85	1,46	2,04	1,41	2,20	1,33	2,08	1,37	

На следующем этапе исследований был выполнен комплексный полевой опыт, позволивший собрать материал о целесообразности практического использования созданного рабочего органа (табл. 2).

Таблица 2

## Результаты полевых исследований модифицированного рабочего органа

Table 2

## Results of field studies of the modified working body

Показатель <i>Indicator</i>	Исходный участок <i>Starting site</i>	Участок, скошенный косилкой КРН-2,1 <i>Area mowed by the KRN-2.1 mower</i>	Участок после однократного прохождения экспериментальным органом <i>Area after a single passage of the experimental tool</i>
Количество стеблей, шт/м <sup>2</sup> , % <i>Number of stems, pcs/m<sup>2</sup>, %</i>	3687	3670 (100)	3681 (100)
Скошенные стебли (высота среза <10 см), шт/м <sup>2</sup> , % <i>Cut stems (cutting height &lt; 10 cm), pcs/m<sup>2</sup>, %</i>	-	3471 (94,6)	3529 (95,9)
Частично срезанные стебли (высота среза 10...15 см), шт/м <sup>2</sup> , % <i>Partially cut stems (cut height of 10...15 cm), pcs/m<sup>2</sup>, %</i>	-	134 (3,7)	113 (3,1)
Несрезанные стебли (высота среза >15 см), шт/м <sup>2</sup> , % <i>Uncut stems (cutting height &gt; 15 cm), pcs/m<sup>2</sup>, %</i>	-	65 (1,8)	39 (1,1)
Влажность растений в период кошения, % <i>Plant moisture during the mowing period, %</i>	80,1	78,9	79,6
Абсолютная влажность почвы в слое 0...10 см, % <i>Absolute soil moisture in the layer of 0...10 cm, %</i>	19,6	19,3	19,5
Количество корневых остатков, г/дм <sup>3</sup> <i>Amount of root residues, g/dm<sup>3</sup></i>	4,16	4,02	4,25
Плотность почвы в слое 0...10 см, г/см <sup>3</sup> <i>Soil density in the layer of 0...10 cm, g/cm<sup>3</sup></i>	1,44	1,43	1,34
Коэффициент структурности почвы в слое 0...10 см, ед. <i>Coefficient of soil structure in the layer of 0...10 cm, units</i>	2,23	2,20	2,79

Выявлено, что эффективность использования модифицированного органа в процессе кошения сопоставима по результативности с использованием распространенной модели ротационной тракторной косилки КРН-2,1 и даже несколько превышает её при равных исходных условиях эксплуатации. Кроме того, разработанный рабочий орган позволяет улучшить агрофизические свойства поверхностного слоя почвы, что позволяет его использовать в различных системах улучшения сельскохозяйственных угодий, а также в мероприятиях по уходу за ними.

На следующих этапах исследований предполагается изучить целесообразность использования в рабочем органе насеченных лезвий, а также разработать и изготовить на их основе опытный образец работоспособной конструкции ротационной комбинированной косилки, сочетающей в себе оптимальную энергоёмкость выполнения технологических процессов. Кроме того, требует изучения вопрос формирования углов наклона почворежущих ножей относительно плоскости кошения и непосредственно самого ротора [6], что будет определять

набор активных рабочих регулировок комбинированной косилки в зависимости от характера растительности и выравнивания поверхности обрабатываемого участка.

## Выводы

1. Разработанный комбинированный рабочий орган обеспечивает эффективное выполнение двух технологических операций одновременно: кошение травянистой растительности (чистота среза стеблей – 95,6%) и рыхление поверхностного слоя почвы на глубину 0...10 см.

2. Определены основные конструктивные параметры и технологические режимы работы нового рабочего органа. На почвах легкосуглинистого гранулометрического состава влажностью 20%, при различной насыщенности почвы корневыми остатками показатели оструктуренности и плотности составили 2,24 ед. и 1,26 г/см<sup>3</sup>. Коэффициент структурности почвы увеличивается на 26,8% при оптимизации плотности.

3. При малых рабочих скоростях движения агрегата целесообразно использовать частоту вращения рабочего органа 150 мин<sup>-1</sup>, а при увеличении скорости – 110 мин<sup>-1</sup>.

## Библиографический список

1. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V. et al. Improvement of forage lands in Central Non-Black Earth Zone of Russia by using some integrated approaches // *Plant Science Today*. 2021. Vol. 8. No 1. P. 9-15. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.827>.
2. Алдошин Н.В. Инновационные технологии заготовки высококачественных кормов / Н.В. Алдошин, А.С. Васильев,

## References

1. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Kudryavtsev A.V. et al. 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. DOI: <https://doi.org/10.14719/pst.2021.8.1.827>.
2. Aldoshin N.V., Vasiliev A.S., Tyulin V.A. et al. Innovatsionnye tekhnologii zagotovki vysokokachestvennykh kormov



В.А. Тюлин [и др.]. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 92 с.

3. Зотов А.А. Сенокосы и пастбища на осушаемых землях Нечерноземья: Монография / А.А. Зотов, В.М. Косолапов, А.Г. Кобзин [и др.]. Москва-Астана: ИП «Изотова К.У.», 2012. 1198 с.

4. Куренкова Е.М., Стародубцева А.М. Растения рода *Heracleum L.* на сенокосах и пастбищах лесной зоны Европейской части России // Кормопроизводство. 2018. № 5. С. 15-26.

5. Красовский В.В. Обоснование параметров и режимов работы косилки для скашивания сидератов в междурядьях садов и виноградников: Дис. ... канд. техн. наук. Симферополь: ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского», 2017. 163 с.

6. Ожерельев В.Н. Влияние параметров ротора и режима работы вертикальной фрезы на боковой вынос почвы // Наука в Центральной России. 2021. № 1. С. 5-11. DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-5-11.

7. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Мишхожев В.Х. и др. Влияние основных параметров ротационной косилки на энергоемкость измельчения растительности // Теоретические и практические аспекты научных исследований: Сборник материалов Международной (заочной) научно-практической конференции / под общ. ред. А.И. Вострецова. Нефтекамск: Научно-издательский центр «Мир науки», 2019. С. 44-47.

8. Чаткин М.Н. Кинематика и динамика ротационных почвообрабатывающих рабочих органов с винтовыми элементами. Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2008. 316 с.

9. Алдошин Н.В. Индустриальная технология производства кормов. М.: Агропромиздат, 1986. 175 с.

10. Безруков А.В. Повышение эффективности функционирования самоходной малогабаритной почвообрабатывающей фрезы за счет адаптации ее режимов к условиям работы: Дис. ... канд. техн. наук. Саранск: ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», 2016. 241 с.

[Innovative technologies for the supply of high-quality feed]. Moscow, FGBNU «Rosinformagrotekh», 2020: 92. (In Rus.)

3. Zotov A.A., Kosolapov V.M., Kobzin A.G. et al. Senokosy i pastbishcha na osushaemykh zemlyakh Nечernozem'ya: Monografiya [Hayfields and pastures on the drained lands of the Non-Black Earth Region: Monograph]. Moscow-Astana, IP «Izotova K.U.», 2012: 1198. (In Rus.)

4. Kurenkova E.M., Starodubtseva A.M. Rasteniya roda *Heracleum L.* na senokosakh i pastbishchakh lesnoy zony Evropeyskoy chasti Rossii [Plants of the *Heracleum L.* genus grown on hay-spits and pastures of the forest zone of the European part of Russia]. *Kormoproizvodstvo*, 2018; 5: 15-26. (In Rus.)

5. Krasovsky V.V. Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty kosilki dlya skashivaniya sideratov v mezhduryad'yakh sadov i vinogradnikov [Determining the parameters and operating modes of a mower for mowing green manure in the interrows of orchards and vineyards]: PhD (Eng) thesis. Simferopol: FGAOU VO «Krymskiy federal'nyy universitet im. V.I. Vernadskogo», 2017: 163. (In Rus.)

6. Ozherelev V.N. Vliyanie parametrov rotora i rezhima raboty vertikal'noy frezy na bokovoy vynos pochvy [Influence of the rotor parameters and the operating mode of the vertical rotary cutter on the lateral soil removal]. *Nauka v Tsentral'noy Rossii*, 2021; 1: 5-11. DOI: 10.35887/2305-2538-2021-1-5-11. (In Rus.)

7. Apazhev A.K., Shekihachev Yu.A., Mishkhozhev V. Kh. et al. Vliyanie osnovnykh parametrov rotatsionnoy kosilki na energoemkost' izmel'cheniya rastitel'nosti [Influence of the main parameters of a rotary mower on the energy consumption of crushing vegetation]. *Teoreticheskie i prakticheskie aspekty nauchnykh issledovaniy: Sbornik materialov Mezhdunarodnoy (zaochnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii. Scientific-practical conference. Ed. by A.I. Vostretsov. Neftkamsk, Nauchno-izdatel'skiy tsentr «Mir nauki»*, 2019: 44-47. (In Rus.)

8. Chatkin M.N. Kinematika i dinamika rotatsionnykh pochvoobrabatyvayushchikh rabochikh organov s vintovymi elementami [Kinematics and dynamics of rotary tillage working implements with screw elements]. Saransk, Izd-vo Mordovskogo universiteta, 2008: 316. (In Rus.)

9. Aldoshin N.V. Industrial'naya tekhnologiya proizvodstva kormov [Industrial feed production technology]. Moscow, Agropromizdat, 1986: 175. (In Rus.)

10. Bezrukov A.V. Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya samokhodnoy malogabaritnoy pochvoobrabatyvayushchey frezy za shchet adaptatsii ee rezhimov k usloviyam raboty [Improving the operating efficiency of a self-propelled small-sized tillage cutter by adapting its modes to working conditions]: PhD (Eng) thesis. Saransk, FGBOU VPO «Mordovskiy gosudarstvenniy universitet im. N.P. Ogareva», 2016: 241. (In Rus.)

## Критерии авторства

Алдошин Н.В., Васильев А.С., Кудрявцев А.В., Голубев В.В. выполнили теоретические исследования, на основании полученных результатов провели эксперимент 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 24.03.2021

Одобрена после рецензирования 15.04.2021

Принята к публикации 19.04.2021

## 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 paper was received 24.03.2021

Approved after reviewing 15.04.2021

Accepted for publication 19.04.2021