

Научная статья

УДК 631.316.44

doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-79-86

## Изыскание способа обхода штамба дерева при обработке приствольных полос многолетних плодовых насаждений

Аслан Каральбиевич Апажев<sup>1</sup>, Артур Мухамедович Егожев<sup>2</sup>,  
Евгений Александрович Полищук<sup>✉3</sup>, Аскер Артурович Егожев<sup>4</sup>

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова, проспект  
Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030

<sup>1</sup>kbr.apagev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5448-5782>

<sup>2</sup>artyr-egozhev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4220-9107>

<sup>✉3</sup>polishuk.kbr@mail.ru

<sup>4</sup>egozhev2017@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2977-7791>

**Аннотация.** В силу различных ограничений и требований в садах на террасированных склонах рекомендуется дерново-перегнойная система содержания почвы, предусматривающая периодическое скашивание произрастающей в междурядьях и приствольных полосах плодовых насаждений сорной растительности, с одновременным ее измельчением и распределением на поверхности почвы в качестве мульчи. Приствольная полоса является наиболее труднообрабатываемой частью сада, поскольку при расположении рабочего органа в приствольной полосе и его периодическом контакте со штамбами плодовых деревьев необходимо обеспечить качественное выполнение технологического процесса, обеспечив обход рабочим органом штамба дерева, исключив при этом вероятность взаимного повреждения орудия и объекта обработки. Для скашивания травяной растительности в приствольных полосах применяются косилки, имеющие различные конструктивно-технологические отличия. Однако существующие конструкции косилок не позволяют полностью удалять растительность в приствольной полосе плодовых насаждений при однократном проходе агрегата вдоль линии ряда, что отрицательно сказывается на эффективности их применения на террасированных склонах, где подход к линии ряда возможен только с одной стороны. В связи с вышеизложенным разработка нового способа обхода штамба дерева в условиях террасного садоводства и реализованной на его основе конструкции косилки является актуальной. Разработан способ обхода штамба дерева, позволяющий не выводить поворотную секцию из линии ряда при обработке приствольных полос. Определены оптимальные конструктивно-режимные параметры косилки, обеспечивающие обработку зоны приствольного круга без травмирования штамба дерева.

**Ключевые слова:** косилка, приствольная полоса, приствольный круг, штамп дерева

**Для цитирования.** Апажев А. К., Егожев А. М., Полищук Е. А., Егожев А. А. Изыскание способа обхода штамба дерева при обработке приствольных полос многолетних плодовых насаждений // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 4(38). С. 79–86. doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-79-86

Original article

## Searching for a method of bypassing a tree stone when processing ground strips of permanent fruit plants

Aslan K. Apazhev<sup>1</sup>, Artur M. Egozhev<sup>2</sup>, Evgeny A. Polishuk<sup>✉3</sup>, Asker A. Egozhev<sup>4</sup>

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, 1v Lenin Avenue, Nalchik,  
Russia, 360030

<sup>1</sup>kbr.apagev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5448-5782>

<sup>2</sup>artyr-egozhev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4220-9107>

<sup>✉3</sup>polishuk.kbr@mail.ru

<sup>4</sup>egozhev2017@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2977-7791>

**Abstract.** Due to various restrictions and requirements in orchards on terraced slopes, a soddy-humus soil maintenance system is recommended, which provides for periodic mowing of weeds growing in the aisles and tree trunks of fruit plantations, with its simultaneous crushing and distribution on the soil surface as mulch. The near-trunk strip is the most difficult part of the garden, since when the working body is located in the near-trunk strip and it periodically contacts with the boles of fruit trees, it is necessary to ensure the high-quality implementation of the technological process, ensuring that the working organ bypasses the tree trunk, while eliminating the likelihood of mutual damage of the tool and the processing object. For mowing grass vegetation in the near-stem strips, mowers are used that have various design and technological differences. However, the existing designs of mowers do not allow to remove completely vegetation in the near-trunk lane of fruit plantations with a single pass of the unit along the row line, which negatively affects the efficiency of their use on terraced slopes, where the row line can only be approached from one side. In connection with the foregoing, the development of a new method for bypassing a tree stem in terraced gardening and a mower design based on it is relevant. A method of bypassing the tree trunk has been developed, which allows not to remove the rotary section from the row line when processing the trunk strips. The optimal design and operating parameters of the mower have been determined, ensuring the processing of the zone of the trunk circle without injuring the tree trunk.

**Keywords:** mower, trunk strip, trunk circle, tree trunk

**For citation.** Apazhev A.K., Egozhev A.M., Polischuk E.A., Egozhev A.A. Finding a way to bypass the trunk of a tree when processing near-trunk strips of perennial fruit plantations. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2022;4(38):79–86. (In Russ.).  
doi: 10.55196/2411-3492-2022-4-38-79-86

**Введение.** В садах на террасированных склонах рекомендуется дерново-перегнойная система содержания почвы, предусматривающая периодическое скашивание произрастающей в междурядьях и приствольных полосах плодовых насаждений сорной растительности, с одновременным ее измельчением и распределением на поверхности почвы в качестве мульчи.

Наиболее труднообрабатываемым участком сада является приствольная полоса ввиду размещения в ней штаббов деревьев, что существенно усложняет работу конструкции и применяемых для ее обработки технических средств [1–8]. Используемые в современном промышленном садоводстве технические средства для обработки приствольных полос по принципу обеспечения обхода штабба дерева можно разделить на две основные группы:

- без вывода рабочего органа из приствольной полосы при обработке зоны приствольного круга;

- с принудительным вводом-выводом рабочего органа из зоны приствольного круга при подходе к штаббу дерева.

В устройствах первой группы обход штабба дерева осуществляется путем отклонения рабочего органа за счет реакции растения на рабочий орган либо на специальный защитный элемент.

К достоинству данной схемы следует отнести повышенную надежность выполненных по данной схеме машин, вследствие отсутствия дополнительного механизма для ввода-вывода рабочих органов из ряда.

Недостатком является возможность травмирования штабба дерева при контакте с подвижной секцией в случае возникновения больших усилий со стороны рабочего органа.

В устройствах второй группы обход штабба дерева осуществляется перемещением при подходе к последнему рабочего органа из приствольной полосы.

Механизм принудительного ввода-вывода обычно состоит из гидроследящего устройства, включающего щуп, золотниковый плунжерный гидрораспределитель, и механизма перемещения рабочего органа с гидроцилиндром, кинематическая связь между которыми осуществляется посредством тяг и рычагов. Принудительный ввод-вывод рабочих органов может осуществляться при контакте сиг-

нального щупа со штамбом дерева посредством различных кинематических схем.

Достоинством является отсутствие контакта рабочего органа со штамбом дерева, что исключает возможность его травмирования.

К недостаткам схемы с принудительным выводом рабочего органа из зоны приствольного круга следует отнести: наличие необработанной (защитной) зоны приствольного круга, сложность конструкции агрегата и низкую эксплуатационную надежность агрегата.

**Цель исследования.** Разработка способа обхода штамба дерева при обработке приствольной полосы, позволяющего обеспечить полное удаление травяной растительности, в том числе в зоне приствольного круга без повреждения штамбов.

Задачи исследования:

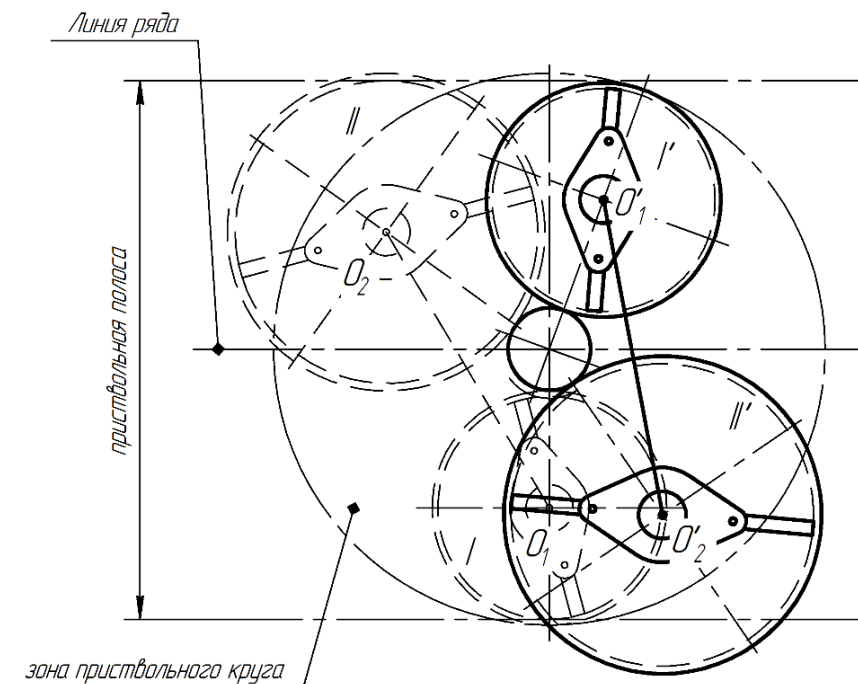
1. На основании проведенного анализа применяемых способов обхода штамбов деревьев в приствольной полосе разработать способ, позволяющий полностью обрабатывать зону приствольного круга без повреждения штамба дерева.

2. Теоретически исследовать влияние конструктивно-режимных параметров косилки

для обработки приствольных полос на возможность травмирования штамба дерева.

**Материалы, методы и объекты исследования.** Теоретические исследования проводились с использованием основных положений высшей математики и теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и натуральных условиях в соответствии с апробированными методиками. Объект исследования – процесс обхода поворотной секцией косилки штамба дерева, опытный образец косилки.

**Результаты исследования.** Авторами предлагается способ обхода штамба дерева, суть которого состоит в том, что конструктивные параметры агрегата (косилки) после начала ее контакта со штамбом дерева обеспечивают перекачивание по его поверхности находящихся в зацеплении со штамбом дерева предохранительных колес I и II (рис. 1), что в свою очередь, позволяет выполнить поворот секции с ротационными рабочими органами вокруг штамба дерева на угол, достаточный для полной обработки приствольного круга [9]. Данный способ позволяет не выводить поворотную секцию из линии ряда, что существенно упрощает конструкции косилки.



**Рисунок 1.** Положение поворотной секции на начальном и конечном этапах обработки зоны приствольного круга

**Figure 1.** The position of the rotary section at the initial and final stages of processing the zone of the barrel circle

На рисунке 1 показано положение элементов поворотной секции на начальном и конечном этапах скашивания растительности вокруг штамба дерева в соответствии с разработанным способом обхода.

Для исследования влияния параметров косилки на вероятную возможность травмирования штамба дерева при контакте с выдвинутой секцией (величина давления, пере-

даваемого на штабб дерева) рассмотрим систему «поворотная секция-штабб дерева» (рис. 2). Приложенные силы и моменты:  $N_1, N_2$  – нормальные силы;  $F_{сц1}, F_{сц2}$  – силы сцепления;  $M_{c1}$  и  $M_{c2}$  – моменты сопротивления вращению предохранительных колес;  $M_1$  и  $M_2$  – моменты, создаваемые силами  $F_1$  и  $F_2$  упругих элементов 1 и 2, входящих в конструкцию косилки.

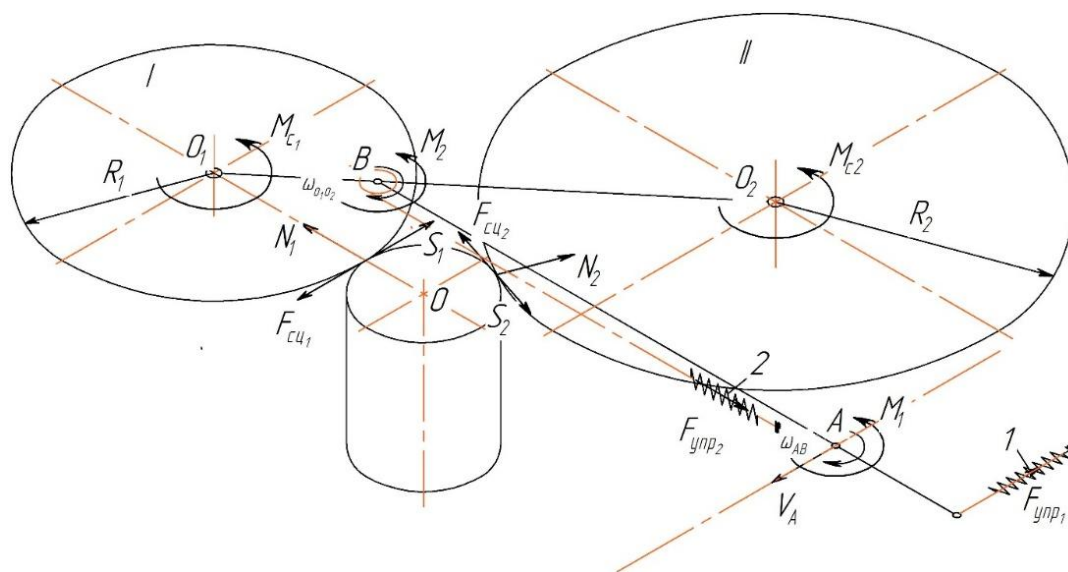


Рисунок 2. Силы, действующие на систему «поворотная секция-штабб дерева»  
Figure 2. Forces acting on the system "rotary section-tree trunk"

Значение нормальной реакции (величина силы давления), приложенной в точках контакта, должно лежать в пределах:

$$N_{min} \leq N_i \leq N_{max}, \quad (1)$$

где:

$N_{min}$  – минимальное значение нормальной реакции штамба дерева, необходимое для обеспечения перекачивания отбойных колес по штаббу дерева, Н;

$N_{max}$  – максимальное значение нормальной реакции штамба дерева, не приводящее к повреждениям коры штамба дерева, Н.

Перекачивание предохранительных колес по штаббу дерева станет возможным, если между ними возникает сила сцепления  $F_{сцi}$ , достаточная для преодоления окружной силы  $S_i$ , равной по величине моменту сопротивления вращению на каждом из предохранительных колес  $M_{ci}$ , деленному на радиус  $R_i$  колеса.

Как известно, модуль сил сцепления, обеспечивающих качение каждого из колес без скольжения, подчинен следующему ограничению:

$$|F_{сцi}| \leq N_i f_{сц}, \quad (2)$$

где:

$f_{сц}$  – коэффициент сцепления.

Следовательно, каждое из предохранительных колес I и II необходимо прижимать к штаббу дерева с некоторой силой  $N_i$ . Если  $F_{сцi} > S_i$ , то проскальзывания не происходит.

Величина момента  $M_1$ , создаваемого упругим элементом 1, будет определяться из выражения:

$$M_1 = F_{упр1} \cdot l_2 \sin \gamma_1, \quad (3)$$

где:

$F_{упр1}$  – сила упругости пружины 1, Н/м;  
 $l_2$  – длина звена AE, отрезка, ограниченного

шарниром крепления поворотного рычага на раме и точкой приложения силы  $F_{ynp1}$ , м;

$\gamma_1$  – угол между осями поворотного рычага и пружины, град.

Действие вращающего момента  $M_1$  может быть также выражено приложенной на консоли поворотной секции силой  $P_1$ , которая будет определяться из уравнения равновесия моментов сил относительно точки  $A$ :

$$P_1 = \frac{F_{ynp1} \cdot l_2 \sin \gamma_1}{l_1}, \quad (4)$$

где:

$l_1$  – длина звена  $AB$ , отрезка, ограниченно шарниром крепления поворотного рычага на раме и точкой приложения силы  $P_1$ , м.

Величина момента  $M_2$ , создаваемого упругим элементом 2:

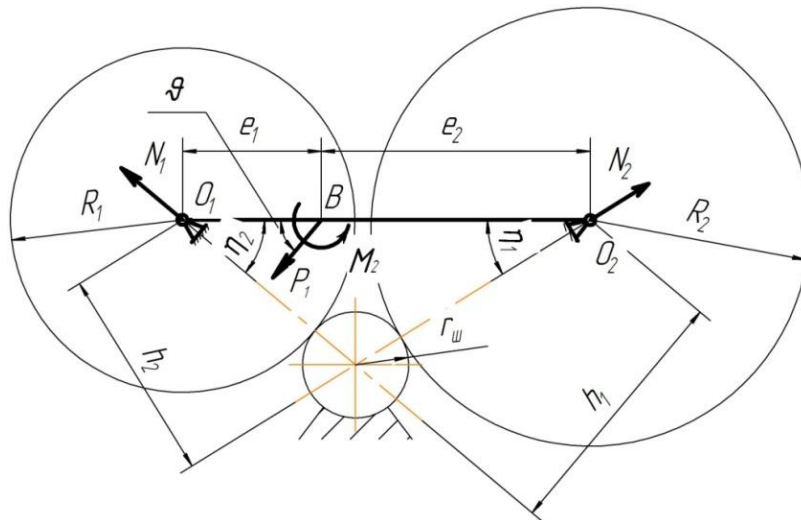
$$M_2 = F_{ynp2} \cdot R_3, \quad (5)$$

где:

$R_3$  – радиус возвратного барабана, м.

Рассматривая поворотную секцию как балку, закрепленную на двух опорах, для любого ее положения относительно штамба дерева нормальные силы  $N_1$  и  $N_2$  могут быть определены из уравнений моментов сил относительно центров каждого из роторов в соответствии с расчетной схемой (рис. 3).

Для данной схемы, при ее вращении вокруг центра  $O$ , характерно изменение направления линии действия силы  $P_1$  и следовательно, ее положения относительно оси поворотной секции (угол  $\vartheta$ ).



**Рисунок 3.** Расчетная схема для определения нормальных сил  $N_1$  и  $N_2$   
**Figure 3.** Calculation scheme for determining the normal forces  $N_1$  and  $N_2$

Составив уравнения моментов сил:

$$\sum M_{i_{o1}} = 0; \quad (6)$$

$$-P_1 \sin \vartheta \cdot e_1 + M_2 + N_2 \cdot h_2 = 0,$$

$$\sum M_{i_{o2}} = 0; \quad (7)$$

$$P_1 \sin \vartheta \cdot e_2 + M_2 - N_1 \cdot h_1 = 0.$$

И подставив все значения, найдем, что:

$$N_1 = \frac{c_1 \cdot \Delta l_3 \cdot l_2 \sin \gamma_1 \sin \vartheta \cdot e_2}{h_1} + \frac{c_2 \cdot \frac{\pi \cdot R_3^2}{180^\circ} \cdot (\gamma_{2i} - \gamma_{20})}{h_1}, \quad (8)$$

$$N_2 = \frac{c_1 \cdot \Delta l_3 \cdot l_2 \sin \gamma_1 \sin \vartheta \cdot e_1}{h_2} - \frac{c_2 \cdot \frac{\pi \cdot R_3^2}{180^\circ} \cdot (\gamma_{2i} - \gamma_{20})}{h_2}. \quad (9)$$

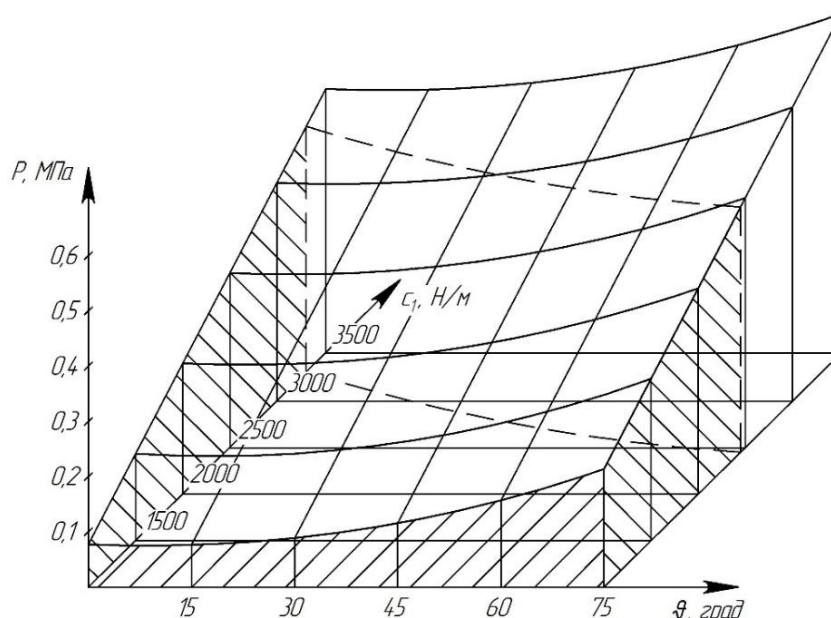
Уравнения (8) и (9) показывают, что величина сил давления каждого из предохранительных колес на штамп дерева зависит от коэффициентов жесткости упругих элементов, входящих в конструкцию косилки, конструктивных параметров косилки, а также от положения поворотной секции относительно штамба дерева.

В соответствии с существующими нормативами допустимое давление на кору плодового дерева составляет 0,45 МПа, при этом величина давления, передаваемого каждым из предохранительных колес 1 и 2, будет зависеть от величин действующих сил ( $N_1, N_2$ ) и площади контактирующей поверхности ( $S = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ).

На рисунке 4 представлен график влияния положения поворотной секции относительно штамба дерева и коэффициентов жесткости упругого элемента поворотного рычага на величину давления, передаваемого со стороны предохранительного колеса 1 (как наиболее нагруженного) на штамп дерева.

Из графика видно, что при обходе поворотной секцией вокруг штамба дерева, т. е. с увеличением угла поворота относительно первоначального положения и увеличения значения коэффициента жесткости упругого элемента поворотного рычага, величина давления возрастает.

Пунктирная линия на рисунке 4 делит поверхность значений  $P$  на две части: в заштрихованной области значения  $P$  удовлетворяют требованию  $N_{min} \leq N_i \leq N_{max}$ , в незаштрихованной области значения  $N_1$  превосходят допустимые.



**Рисунок 4.** Зависимость величины давления, передаваемого на штамп дерева, от угла поворота  $\vartheta$  и коэффициента жесткости пружины  $c_1$

**Figure 4.** The dependence of the pressure transmitted to the tree stem on the angle of rotation  $\vartheta$  and the spring stiffness coefficient  $c_1$

В результате расчетов с использованием выражения (7) получены следующие допустимые значения коэффициента жесткости:  $c_1 \leq 2480 \text{ Н/м}$ .

**Выводы:**

1. Разработан способ обхода штамба дерева, позволяющий полностью обработать

зону приствольного круга без повреждений штамба в условиях террасного садоводства.

2. Выявлены конструктивно-режимные параметры косилки, влияющие на возможность травмирования штамба дерева, и определены их оптимальные параметры.

**Список литературы**

1. Егожев А. М., Полищук Е. А., Егожев А. А. Обоснование параметров поворотной секции косилки для террасного садоводства // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2020. № 2(28). С. 126–130.

2. Apazhev A.K., Fiaphev A.G., Shekikhachev Yu.A., Hazhmetov L.M., Shekikhacheva L.Z. Modeling the operation process of the unit for processing row-spacings of fruit plantings // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. 315(5). Art. 052023. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052023.
3. Егожев А. М., Полищук Е. А., Егожев А. А. Обоснование динамических параметров окашивающей косилки // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Коков. 2020. № 3(29). С. 113–118.
4. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Расчет потребности в опрыскивателях // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2020. № 3(29). С. 80–84.
5. Шекихачева Л. З. К вопросу совершенствования конструкции промышленных садов // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2020. № 3(29). С. 119–123.
6. Шекихачев Ю. А., Шекихачева Л. З. Анализ показателей работы плодуборочных машин // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2020. № 2(28). С. 131–136.
7. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Исследование режимов работы плодуборочных машин // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2020. № 1(27). С. 75–79.
8. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А. Оптимизация функционирования сельскохозяйственных производственных систем // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022. № 1(35). С. 81–89. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-90-97.
9. Пат. № 170119 Российская Федерация МПК А01D34/84. Косилка окашивающая / Шомахов Л. А., Полищук Е. А., Апажев А. К., Егожев А. М., Шекихачев Ю. А., Егожев А. А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В. М. Кокова»; заявл. 17.01.2017; опублик. 14.04.2017. Бюлл. № 11.

#### References

1. Egozhev A.M., Polischuk E.A., Egozhev A.A. Justification of the parameters of the rotary section of the mower for terraced gardening. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;2(28):126–130. (In Russ.)
2. Apazhev A.K., Fiaphev A.G., Shekikhachev Yu.A., Hazhmetov L.M., Shekikhacheva L.Z. Modeling the operation process of the unit for processing row-spacings of fruit plantings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019. 315(5). Art. 052023. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052023.
3. Egozhev A.M., Polischuk E.A., Egozhev A.A. Justification of dynamic parameters mowing machine. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;3(29):113–118. (In Russ.)
4. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. Calculation of the need for sprayers. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;3(29):80–84. (In Russ.)
5. Shekikhacheva L.Z. To the question of improvement of the design of industrial gardens. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;3(29):119–123. (In Russ.)
6. Shekikhachev Yu.A., Shekikhacheva L.Z. Analysis of performance indicators of fruit harvesting machines. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;2(28):131–136. (In Russ.)
7. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. Study of operation modes of fruit harvesting machines. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2020;1(27):75–79. (In Russ.)
8. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A. Optimizing the functioning of agricultural production systems. *Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2022;1(35):81–89. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-90-97. (In Russ.)
9. Pat. № 170119 Rossijskaya Federaciya МРКА01D34/84. Kosilka okashivayushchaya / Shomahov L.A., Polischuk E.A., Apazhev A.K., Egozhev A.M., Shekikhachev Yu.A., Egozhev A.A.; zayavitel' ipatentoobladatel' Kabardino-Balkarskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. V.M. Kokova [Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov]; zayavl. 17.01.2017; publ. 14.04.2017. Bull. № 11.

**Сведения об авторах**

**Апажев Аслан Каральбиевич** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1530-1950, Author ID: 261514, Scopus ID: 57195587959

**Егожев Артур Мухамедович** – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1074-2232, Author ID: 31728, Scopus ID: 6505576211

**Полищук Евгений Александрович** – старший преподаватель кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», Author ID: 754556

**Егожев Аскер Артурович** – аспирант 2-го года обучения кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1074-2232, Author ID: 31728, Scopus ID: 6505576211

**Information about the authors**

**Aslan K. Apazhev** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1530-1950, Author ID: 261514, Scopus ID: 57195587959

**Artyr M. Egozhev** – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1074-2232, Author ID: 31728, Scopus ID: 6505576211

**Evgeny A. Polischuk** – Senior Lecturer of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Author ID: 754556

**Asker A. Egozhev** – Master's student of the 2nd year of study of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1074-2232, Author ID: 31728, Scopus ID: 6505576211

**Авторский вклад.** Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

**Author's contribution.** All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Conflict of interest.** The authors declare no conflict of interest.

*Статья поступила в редакцию 31.10.2022;  
одобрена после рецензирования 23.11.2022;  
принята к публикации 30.11.2022.*

*The article was submitted 31.10.2022;  
approved after reviewing 23.11.2022;  
accepted for publication 30.11.2022.*