

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Technologies, Machines and Equipment for the Agro-industrial Complex

Научная статья

УДК 631.316.44

doi: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-92-101

**Исследование процесса взаимодействия предохранительных колес  
двухроторных вертикальных фрез со штамбом дерева**

Аслан Каральбиевич Апажев<sup>1</sup>, Артур Мухамедович Егожев<sup>✉2</sup>,  
Евгений Александрович Полищук<sup>3</sup>, Аскер Артурович Егожев<sup>4</sup>,  
Низам Алейдарович Алиев<sup>5</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>artur-egozhev@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4220-9107>

<sup>3</sup>polishuk.kbr@mail.ru

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

<sup>5</sup>07nizam1997@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2943-4462>

**Аннотация.** Освоение земель на склонах под плодовые насаждения существенно ограничивает способы механической обработки приствольных полос, так как появляется необходимость подхода к приствольной полосе с одной стороны. Для улучшения аэрации, разрушения дождевых каналов и усвоения питательных веществ применяется фрезерование приштамбовой зоны плодовых насаждений. Важной проблемой для предпринимателей и фермеров, занимающихся производством плодовой продукции в условиях как равнинного, так и склонового земледелия, является отсутствие современных машин для механической обработки междурядий и приштамбовой зоны. Большинство производителей, ведущих деятельность в условиях склонового садоводства, не располагают специальной техникой для механической обработки приштамбовой зоны за один проход агрегата. Разработка и внедрение новых механизмов и машин для полной механической обработки приштамбовой зоны за один проход в условиях склонового садоводства является актуальной. Проведены теоретические исследования процесса взаимодействия предохранительных колес фрезерных роторов на штамб дерева при его полном обходе за один проход агрегата. Представлены основные конструктивные параметры вертикальной двухроторной фрезы, на которую получен патент на полезную модель. Получены аналитические зависимости, которые позволяют определить влияние параметров предохранительных колес на качество выполнения технологического процесса.

**Ключевые слова:** вертикальная фреза, штамб дерева, предохранительное колесо, приствольная полоса, склоновое земледелие

**Для цитирования.** Апажев А. К., Егожев А. М., Полищук Е. А., Егожев А. А., Алиев Н. А. Исследование процесса взаимодействия предохранительных колес двухроторных вертикальных фрез со штамбом дерева // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 3(41). С. 92–101. doi: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-92-101

Original article

## Investigation of the process of interaction of safety wheels of two-rotor vertical milling cutters with a tree stem

Aslan K. Apazhev<sup>1</sup>, Artur M. Egozhev<sup>✉2</sup>, Evgeny A. Polishchuk<sup>3</sup>,  
Asker A. Egozhev<sup>4</sup>, Nizam A. Aliev<sup>5</sup>

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

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

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

<sup>3</sup>polishuk.kbr@mail.ru

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

<sup>5</sup>07nizam1997@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2943-4462>

**Abstract.** The development of land on slopes for fruit plantations significantly limits the methods of mechanical processing of trunk strips, since there is a need to approach the trunk strip from one side. To improve aeration, the destruction of rain channels and the assimilation of nutrients, milling of the prishtambovy zone of fruit plantations is used. An important problem for entrepreneurs and farmers engaged in the production of fruit products in conditions of both flat and slope farming is the lack of modern machines for mechanical processing of row spacing and the tamp zone. Most manufacturers operating in the conditions of slope gardening do not have a special technique for machining the tamp zone in one pass of the unit. The development and introduction of new mechanisms and machines for complete mechanical processing of the tamp zone in one pass, in conditions of slope gardening, is relevant. Theoretical studies of the process of interaction of safety wheels of milling rotors on a tree trunk during its complete bypass, in one pass of the unit, have been carried out. The main design parameters of a vertical two-rotor milling cutter, for which a patent for a utility model was obtained, are presented. Analytical dependences are obtained that allow us to determine the influence of the safety wheel parameters on the quality of the technological process.

**Keywords:** vertical milling cutter, tree trunk, safety wheel, trunk strip, slope farming

**For citation** Apazhev A.K., Egozhev A.M., Polishchuk E.A., Egozhev A.A., Aliev N.A., Investigation of the process of interaction of safety wheels of two-rotor vertical milling cutters with a tree stem. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2023;3(41):92–101. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-92-101

**Введение.** Освоение склоновых земель под плодовые насаждения существенно ограничивает способы механической обработки приствольных полос, так как появляется необходимость подхода к приствольной полосе с одной стороны [1–5]. Разработка и внедрение новых механизмов и машин для полной механической обработки приштамбовой зоны за один проход в условиях склонового садоводства является актуальной.

Теоретическое исследование процесса взаимодействия предохранительных колес роторов при обходе штамба позволит выявить основные конструктивно-технологические параметры функционирования фрезы [6, 7].

**Цель исследования** – обоснование конструктивно-технологических параметров предохранительных колес двухроторных вертикальных фрез со штамбом дерева.

### **Задачи исследования:**

1. Разработать новую конструкцию двухроторной вертикальной фрезы, обеспечивающей полную обработку зоны приствольного круга за один проход агрегата вдоль линии ряда.

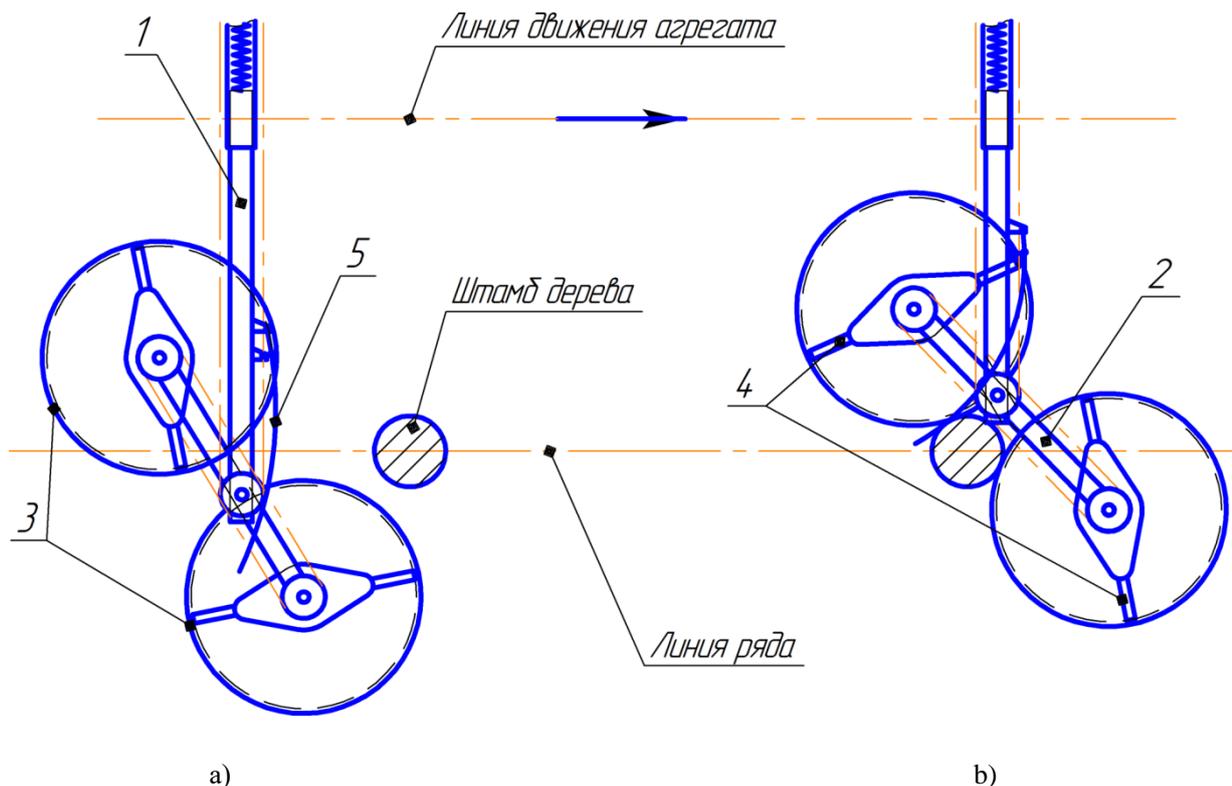
2. Теоретически обосновать конструктивно-технологические параметры предохранительных колес предлагаемой конструкции двухроторной фрезы.

**Объект исследования** – параметры взаимодействия предохранительных колес со штамбом дерева при его полном обходе.

**Методы исследования.** Теоретические исследования проводились с использованием основных положений высшей математики и теоретической механики. Эксперименталь-

ные исследования проводились в лабораторных и натуральных условиях.

**Результаты исследования.** Предлагается новая двухроторная садовая фреза, конструктивная особенность которой позволяет произвести обход штамба дерева полностью за один проход по ряду [8] (рис. 1).



**Рисунок 1.** Конструктивно-технологическая схема двухроторной фрезы:  
а) при входе в контакт со штамбом дерева; б) при выходе из контакта со штамбом дерева  
(пат. Р.Ф. № 214799)

**Figure 1.** Design and technological scheme of a two-rotor milling cutter:  
а) when coming into contact with a tree trunk; б) when coming out of contact with a tree trunk  
(pat. R.F. No. 214799)

Разработанная нами двухроторная фреза может агрегатироваться с тракторами класса 0,6-1,4 при обработке как тяжелых, так и средних по механическому составу почв.

Конструктивной особенностью данной вертикальной фрезы является поворот фрезерной секции за счет реактивных сил почвы при работе.

После контакта выносного технологического щупа со штамбом дерева с помощью кинематических связей конструкции срабатывает механизм поворота рабочих органов, позволяющий выполнить поворот ротационных рабочих органов вокруг штамба на угол

180 град., достаточный для обработки приствольной зоны полностью.

На рисунке 1 показано положение несущих и рабочих элементов поворотной секции на начальном и конечном этапах фрезерования площади вокруг штамба.

Технический результат полезной модели сводится к обеспечению максимальной площади, обрабатываемой фрезерными рабочими органами при выполнении технологического процесса обработки приствольных зон плодовых деревьев на террасированных склонах.

Предлагаемая двухроторная фреза состоит из навешиваемой на раму трактора теле-

скопической несущей балки 1, поворотного бруса 2, предохранительных колес 3, фрезерных рабочих органов 4, а также механизма для управления поворотом с шупом 5 и системы рычагов с кинематическими связями, взаимодействующих с упором несущей телескопической балки поворотного бруса.

К подвесу трактора крепится телескопическая несущая балка 1 с упругими элементами, на консоли которого установлен шарнирно поворотный брус 2 с предохранительными колесами 3 для защиты штамба от повреждений при его обходе ножами они свободно вращаются вокруг своей оси, как и фрезерные рабочие органы 4. Ось вращения поворотного бруса 2 с размещенными на нем предохранительными колесами 3 и фрезерными рабочими органами 4 проходит через линию, соединяющую центры роторов.

При движении агрегата по ряду поворотный брус 2 с фрезерными ножами 4 удерживается от свободного вращения механизмом управления.

При подходе к дереву шуп 5 касается штамба и отклоняется посредством системы

рычагов, освобождая поворотный брус 2 с установленными на нем фрезерными рабочими органами 4. Под действием реактивных сил, возникающих от взаимодействия ножей с почвой, брус поворачивается на  $180^\circ$ , обходя штамп дерева с полной механической обработкой площади вокруг штамба. При обходе штамба дерева упругие элементы телескопической несущей балки 1 обеспечивают постоянный контакт отбойных колес и штамба. После освобождения шупа 5 от связи со штамбом механизм управления поворотом возвращается в исходное положение, сразу фиксируя поворотный брус 2.

Рассмотрим систему сил при взаимодействии предохранительного колеса со штамбом (рис. 2): нормальные силы  $N_1, N_2$  возникающие при контакте колес с корой дерева, приложенные в точках контакта упругих колес со штамбом, а также силы сцепления  $F_{сц1}, F_{сц2}$ , моменты сопротивления, возникающие при вращении колес  $M_{с1}$  и  $M_{с2}$ , а также вращающие моменты  $M_1$  и  $M_2$ , от сил упругости  $F_1$  и  $F_2$  пружин 1 и 2, входящих в конструкцию вертикальной фрезы [8, 9].

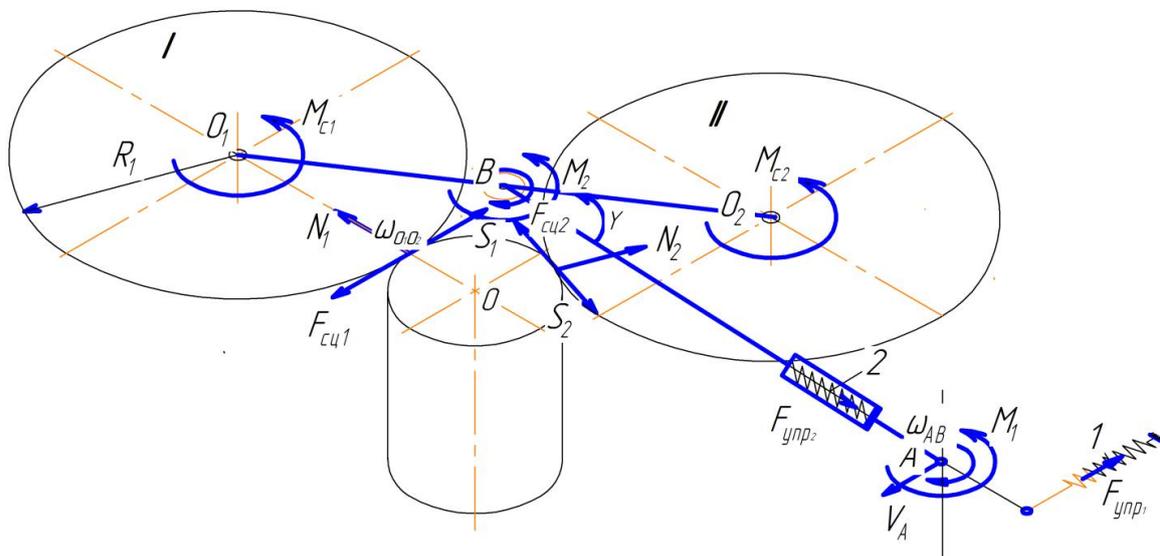


Рисунок 2. Расчетная схема фрезы  
Figure 2. Design scheme of the milling cutter

При  $N_i \neq 0$  имеют место условия безотрывности упругих отбойных колес, при которых они все время будут касаться штамба. При этом должны соблюдаться условия не повреждения коры штамба, то есть не должны превышать допустимые значения давления на кору:

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

где:

$N_{\min}$  – нормальная минимальная реакция штамба, при которой обеспечиваются перекатывания по штамбу предохранительных колес,  $N$ ;

$N_{\max}$  – максимальная нормальная реакция штамба, которая не повреждает кору,  $N$ .

Перекачивание упругих отбойных колес по штамбу возможно при возникновении силы сцепления  $F_{сц_i}$ , необходимой для преодоления силы  $S_i$  и равной отношению момента сопротивления вращению на предохранительных колесах  $M_{с_i}$  к радиусу  $R_i$  колеса. Модуль сил сцепления, обеспечивающий перекачивание без скольжения, определяется [9]:

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

где:

$f_{сц}$  – коэффициент трения покоя.

При этом каждое из отбойных колес  $I$  и  $2$  необходимо прижать к штамбу с силой  $N_i$ . При  $F_{сц_i} > S_i$ , скольжение отсутствует.

Прижимная сила предохранительных колес к штамбу дерева в процессе их обхода будет обеспечиваться за счет сил упругости пружин сжатия, находящихся в телескопической балке (рис. 2, поз. 2). Механизм возврата поворотной секции в исходное положение происходит за счет сил реакции обрабатываемой почвы возникающей в процессе вращения роторов фрезы. При вращении поворотной фрезерной секции вокруг штамба сила упругости  $F_{упр_2}$  пружины сжатия, находящаяся в телескопической балке, прижимает отбойные колеса к штамбу дерева.

Реакция штамба дерева, появляющаяся при работе фрезерного рабочего органа, также создает вращающий момент  $M_2$ , который все время стремится повернуть поворотную балку по часовой стрелке.

Знак момента  $M_2$  не изменится до конца обхода штамба:

$$M_2 = c_2 \cdot \frac{\pi \cdot R_2^2}{180} \cdot (\gamma_{2_i} - \gamma_{2_0}), \quad (3)$$

где:

$R_2$  – радиус колеса, м;

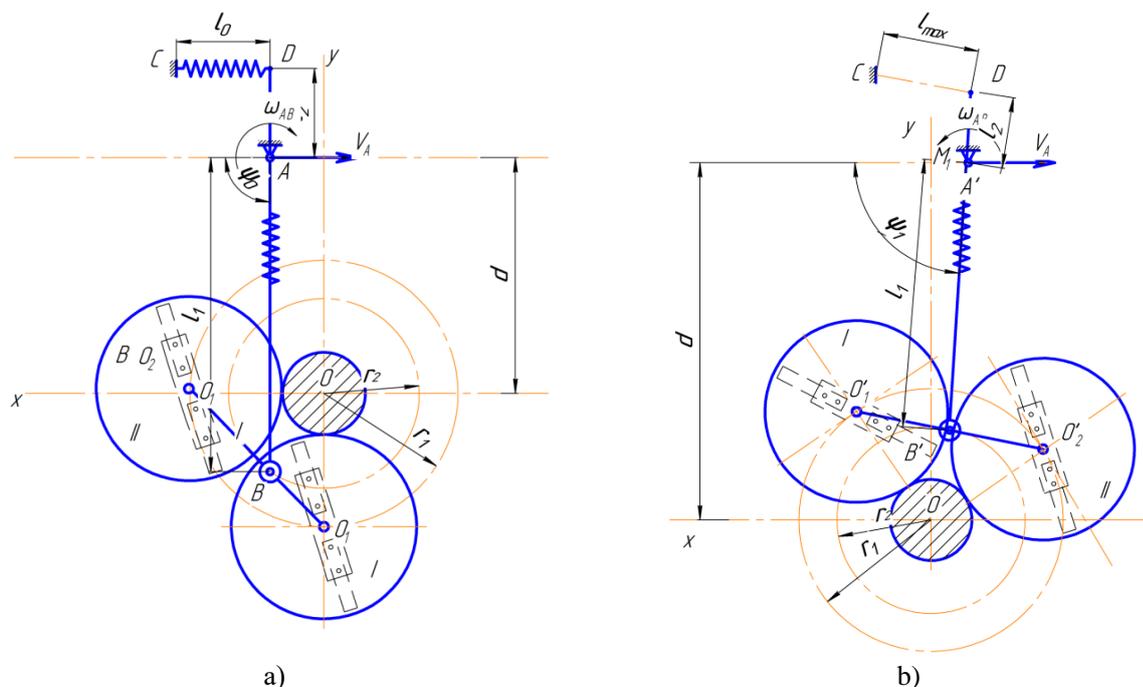
$c_2$  – коэффициент жесткости пружины 2, Н/м;

$\Delta l_2$  – удельное сжатие пружины, м;

$\gamma_{2_i}$  – угол между поворотной секцией и телескопической балкой в  $i$ -том положении, град;

$\gamma_{2_0}$  – угол между поворотной секцией и телескопической балкой, определяющий начальное положение роторов фрезы, град.

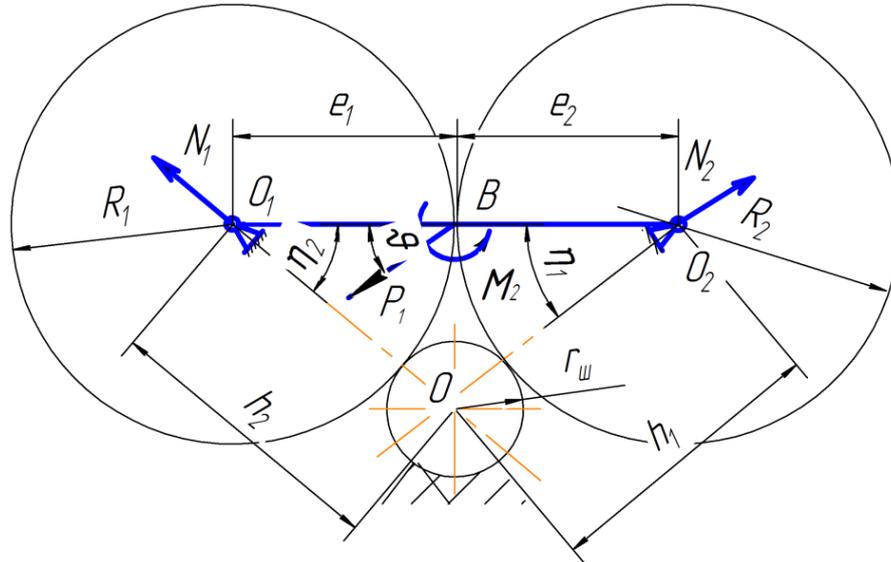
Функционирование фрезы при обходе штамба делится на два этапа (рис. 3а, б). Первый этап (рис. 3а), после контакта сигнального щупа со штамбом дерева, поворот фрезерной секции происходит от сил реакции почвы. Данный этап предполагает отклонение упругой телескопической стойки на небольшой угол по дуге в пределах от  $\psi_0 = 90^\circ$  до  $\psi_1 = \arcsin(d - r_2)/l_1$ .



**Рисунок 3.** Положения роторов фрезы: а) положение роторов на первом этапе; б) положение роторов в конце первого этапа и начале второго  
**Figure 3.** Positions of the milling cutter rotors: а) the position of the rotors at the first stage; б) the position of the rotors at the end of the first stage and the beginning of the second

Значение моментов от сил упругости пружин в пределах от  $M_1 = 0$  до  $M_1 = \max$ . и от  $M_2 = 0$  до  $M'_2$ . Поворотную секцию на первом этапе рассмотрим как балку на двух

опорах, относительно штамба для всех положений, нормальные составляющие сил  $N_1$  и  $N_2$  определяются из уравнения моментов (рис. 4).



**Рисунок 4.** Расчетная схема фрезерной секции на первом этапе обхода штамба  
**Figure 4.** The design scheme of the milling section at the first stage of the stem bypass

При вращении вокруг центра  $O$  направление линии действия силы  $P_1$  изменяется относительно положения оси поворотной фрезерной секции (угол  $\vartheta$ ).

Уравнения моментов сил при равенстве моментов  $M_1$  и  $M_2$  будут:

$$\sum M_{i_{o1}} = 0; -P_1 \sin \vartheta \cdot e_1 + M_2 + N_2 \cdot h_2 = 0, \quad (4)$$

$$\sum M_{i_{o2}} = 0; P_1 \sin \vartheta \cdot e_2 + M_2 - N_1 \cdot h_1 = 0. \quad (5)$$

Тогда силы  $N_1$  и  $N_2$  будут равны:

$$N_2 = \frac{P_1 \sin \vartheta \cdot e_1 - M_2}{h_2}, \quad (6)$$

$$N_1 = \frac{P_1 \sin \vartheta \cdot e_2 + M_2}{h_1}, \quad (7)$$

где:

$\vartheta$  – угол между направлением силы  $P_1$ , град;

$e_1, e_2$  – расстояние от центров роторов 1 и 2 до оси телескопической балки, м;

$h_1, h_2$  – расстояния до сил  $N_1$  и  $N_2$  соответственно, м:

$$h_1 = (e_1 + e) \sin \eta_1, \quad (8)$$

$$h_2 = (e_1 + e_2) \sin \eta_2, \quad (9)$$

где:

$\eta_1, \eta_2$  – углы, составляемые между осью фрезерной секции и линиями от центра колес со штамбом, рад.

После подстановки полученных данных в (6) и (7) получим составляющие сил давления для каждого колеса:

$$N_1 = \frac{c_1 \cdot \Delta l_3 \cdot l_2 \sin \gamma_1 \sin \vartheta \cdot e_2}{h_1} + \frac{c_2 \cdot \frac{\pi \cdot R_3^2}{180} \cdot (\gamma_{2i} - \gamma_{20})}{h_1}, \quad (10)$$

$$N_2 = \frac{c_1 \cdot \Delta l_3 \cdot l_2 \sin \gamma_1 \sin \vartheta \cdot e_1}{h_2} - \frac{c_2 \cdot \frac{\pi \cdot R_3^2}{180} \cdot (\gamma_{2i} - \gamma_{20})}{h_2}. \quad (11)$$

Следовательно, для первого этапа обхода соблюдены условия постоянного контакта предохранительных колес со штамбом, а

также требования  $M_1 = M_2$ . Уравнения (10) и (11) показывают, что значения сил давления колес на штамп зависят от коэффициентов жесткости пружин, находящихся в конструкции фрезы, конструктивных параметров фрезы, а также от положения поворотного бруса относительно штампа.

В соответствии с агротехническими требованиями допустимое контактное давление на кору дерева составляет до 0,45 МПа [6]. Величина контактного давления, создаваемого отбойными колесами, зависит от сил ( $N_1, N_2$ ) и площади контакта до ( $S = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ ).

В начале второго этапа (рис. 3b) телескопическая стойка начинает поворот в сторону движения агрегата по дуге. Также роторная секция проворачивается для обхода штампа по дуге окружности от сил реакции почвы. Угол поворота телескопической стойки находится в пределах от  $\psi_1$  до  $\psi_2 = d/(\Gamma_2 + l_1)$ , предотвращающий отрыв предохранительных колес от штампа. Исходя из условия безотрывности колес на всех этапах, необходимо соблюдение условия  $N'_2 > 0$ :

$$\frac{e_1}{l_1} M_1 - M_2 > 0. \quad (12)$$

Следовательно, в течение всего периода второго этапа устойчивость контакта отбойных колес со штампом обеспечивается параметрами жесткости пружин и геометрией положения фрезерных рабочих органов.

При подстановке в формулы (10) и (11) допустимых значений контактных давлений на кору штампа получено значение коэффициента жесткости пружины сжатия в телескопической стойке –  $c_2 \leq 2180 \text{ Н/м}$ .

Зависимости угла поворота фрезерной секции и коэффициента жесткости пружины сжатия телескопической балки от силы давления предохранительных колес на штамп дерева представлены на рисунке 5. График показывает, что при обходе штампа дерева, т. е. при положительном угле поворота секции и увеличении коэффициента жесткости пружины сжатия телескопической балки значения силы давления возрастают.

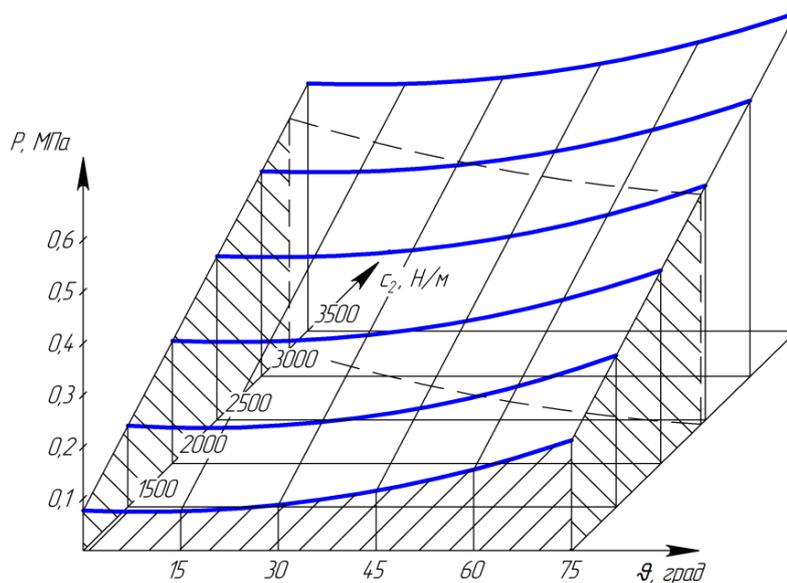


Рисунок 5. График зависимости силы давления на штамп от угла поворота секции  $\vartheta$  и коэффициента жесткости пружины сжатия  $c_2$

Figure 5. Graph of the dependence of the pressure force on the stem, on the angle of rotation of the section  $\vartheta$  and the stiffness coefficient of the compression spring  $c_2$

**Выводы.** Предложенное конструктивно-технологическое решение позволяет существенно снизить себестоимость обработки и энергозатраты на единицу площади, по сравнению с существующими конструкциями.

Полученные аналитические зависимости, позволяющие определить оптимальные конструктивные параметры предохранительных колес вертикальных фрез, могут быть использованы в практике проектирования машин и агрегатов для условий склонового садоводства.

## Список литературы

1. Апажев А. К., Егожев А. М., Полищук Е. А., Егожев А. А. Обоснование параметров рабочего органа фрезы для террасного садоводства // *Сельский механизатор*. 2021. № 8. С. 8–9.
2. Минсельхоз РФ: темпы закладки садов в КБР вдвое превышают показатели по стране [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tass.ru/v-strane/9342469>
3. Апажев А. К., Егожев А. М., Полищук Е. А., Егожев А. А. Двухроторная фреза для террасного садоводства // *Сельский механизатор*. 2022. № 4. С. 18–19.
4. Apazhev A., Egozhev A., Misirov M., Polishchuk E., Egozhev A. Mathematical model for calculating the parameters of machines for processing near-trunk strips in a terrace // International Scientific and Practical Conference "Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems" (ITEEA 2021), 2021. Pp. 18–19.
5. Манаенков К. А. Обоснование параметров вертикальной фрезы для обработки межствольных полос в интенсивных садах // *Повышение эффективности агропромышленного производства в условиях современных форм хозяйствования: тез. докл. междунар. науч.-практ. конф. Воронеж, 1995. Ч. 2. С. 164–165.*
6. Бухман Н. С., Манаенков К. А. О прямом математическом моделировании процесса обхода штамбов деревьев фрезерными рабочими органами с вертикальной осью вращения // *Сельскохозяйственное производство и высшая школа на переломном этапе реформирования: матер. обл. науч.-практ. конф. 21–22 мая 1996 г. Мичуринск, 1996. Сб. 2. Ч. 2. С. 75–76.*
7. Завражнов А. И., Манаенков К. А. Обоснование параметров и режимов работы вертикальных фрез для обработки межствольных полос в садах // *Сельскохозяйственное производство и высшая школа на переломном этапе реформирования: материалы областной научно-практической конференции, 21–22 мая 1996 г., Мичуринск, 1996. Сб. 2. Ч. 2. С. 70–71.*
8. Патент № 214799 Российская Федерация, СПК А01В 39/20 (2022.08); А01В 39/26 (2022.08). Фреза для террасного сада / А. М. Егожев, А. К. Апажев, М. Х. Мисиров, Е. А. Полищук, А. А. Егожев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова». № 2022115620: заявл. 08.06.2022, опубл. 15.11.2022, Бюл. № 32.
9. Яблонский А. А., Никифорова В. М. Курс теоретической механики: учебное пособие для ВТУЗов. Москва: КНОРУС, 2010. 608 с.

## References

1. Apazhev A.K. Justification of the parameters of the working body of a milling cutter for terraced gardening. A.K. Apazhev, A.M. Yegorzhev, E.A. Polishchuk, A.A. Yegorzhev. *Selskiy Mechanizator* [Rural mechanizer]. 2021;(9):8–9. (In Russ.)
2. Ministry of Agriculture of the Russian Federation: the pace of laying gardens in the CBD is twice as high as the country's indicators [Electronic resource]. Access mode: <https://tass.ru/v-strane/9342469> (date of application 01.10.2020). (In Russ.)
3. Apazhev A.K., Egozhev A.M., Polishchuk E.A., Egozhev A.A. Two-rotor milling cutter for terraced gardening. *Selskiy Mechanizator* [Rural machine operator]. 2022. N 4. Pp. 18–19.
4. Apazhev A.K. et al. Mathematical model for calculating the parameters of machines for processing near-trunk strips in a terrace (Scopus). International Scientific and Practical Conference "Innovative Technologies in Environmental Engineering and Agroecosystems" (ITEEA 2021). Nalchik, Russian Federation, March. 2021. Pp. 18–19.
5. Manaenkov K.A. Substantiation of the parameters of a vertical milling cutter for working inter-trunk strips in intensive gardens. *Povysheniye effektivnosti agropromyshlennogo proizvodstva v usloviyakh sovremennykh form khozyaystvovaniya: tez. dokl. mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Improving the efficiency of agro-industrial production in modern forms of management: abstracts of the international scientific and practical conference]. Voronezh, 1995. Part 2. Pp. 164–165. (In Russ.)
6. Buchman N.S., Manaenkov K.A. On direct mathematical modeling of the process of circumventing tree trunks by milling working bodies with a vertical axis of rotation. *Sel'skokhozyaystvennoye proizvodstvo i vysshaya shkola na perelomnom etape reformirovaniya: mater. obl. nauch.-prakt. konf. 21–22 maya 1996 g.* [Agricultural production and higher education at a turning point in the reform: Proceedings of the regional scientific and practical. conf. May 21–22, 1996]. Collection 2. Part 2. Michurinsk, 1996. Pp. 75–76. (In Russ.)

7. Zavrazhnov A.I., Manaenkov K.A. Substantiation of parameters and modes of operation of vertical milling cutters for processing inter-trunk strips in gardens. *Sel'skokhozyaystvennoye proizvodstvo i vysshaya shkola na perelomnom etape reformirovaniya: mater. obl. nauch.-prakt. konf. 21–22 maya 1996 g.* [Agricultural production and higher education at a turning point in the reform: Proceedings of the regional scientific and practical. conf. May 21–22, 1996]. Collection 2. Part 2. Michurinsk, 1996. 70–71. (In Russ.)

8. Pat. 214799 Russian Federation, SEC A01B 39/20 (2022.08); A01B 39/26 (2022.08). Milling cutter for a terraced garden. A.M. Egozhev, A.K. Apazhev, M.Kh. Misirov., E.A. Polishchuk, A.A. Egozhev; applicant and patent holder applicant of the Federal State Educational Institution of Higher Education "Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov": No. 2022115620: application. 08.06.2022; publ. 15.11.2022, Bul. No. 32. (In Russ.)

9. Yablonsky A.A., Nikiforova V.M. *Kurs teoreticheskoy mekhaniki: uchebnoye posobiye dlya VTUZov* [Course of theoretical mechanics: textbook for higher technical educational institutions]. Moscow: KNORUS, 2010. 608 p. (In Russ.)

---

### 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, Researcher ID: H-4436-2016

**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, Researcher ID: AAB-3748-2020

**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 3-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: 5389-1457, Author ID: 31728

**Алиев Низам Алейдарович** – аспирант 1-го года обучения кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», Author ID: 1157814

### 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, Researcher ID: H-4436-2016

**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, Researcher ID: AAB-3748-2020

**Evgeny A. Polishchuk** – 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** – Postgraduate student of the 3rd year of study of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 5389-1457, Author ID: 31728

---

**Nizam A. Aliev** – Postgraduate student of the Faculty of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Author ID: 1157814

---

**Авторский вклад.** Все авторы 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 were directly involved into the planning, execution and analysis of this study. All authors of this article have read and approved the submitted final version.

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

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

---

*Статья поступила в редакцию 29.08.2023;  
одобрена после рецензирования 11.09.2023;  
принята к публикации 15.09.2023.*

*The article was submitted 29.08.2023;  
approved after reviewing 11.09.2023;  
accepted for publication 15.09.2023.*