

Научная статья

УДК 631.317:621.9.01

DOI: 10.55196/2411-3492-2026-3-53-119-127

Обоснование компоновки роторов в рабочих органах садовой фрезы

Мухамад Хусаинович Мисиров^{✉1}, Артур Мухамедович Егожев²,
Хасан Асламович Апхудов³

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

^{✉1}misir56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9752-1184>

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

³aphudov07@mail.ru <https://orcid.org/0009-0007-0134-0444>

Аннотация. Применение ножей с наклонными режущими кромками в садовых фрезах с вертикальной осью вращения улучшает равномерность фрезерования и позволяет направленно перемещать почву. При этом появляется осевая сила фрезерования, отсутствующая при использовании прямых ножей, которая приводит к возникновению значительных реактивных сил, выталкивающих или прижимающих ротор в вертикальном направлении. Это негативно влияет на процесс фрезерования. В двухроторных фрезах появляется возможность компенсировать суммарное осевое усилие. Цель работы – системный анализ всех теоретически возможных компоновок роторов двухроторного фрезерного рабочего органа и разработка методики выбора рациональной схемы. Построена полная матрица из 16 упорядоченных комбинаций, определяемых направлением вращения роторов, ориентацией режущих кромок и вектором осевой силы. Все варианты разделены на два класса: с нулевой суммарной осевой силой (возникает момент пары сил) и с ненулевой суммарной осевой силой. Выделено 10 физически реализуемых комбинаций, включая четыре схемы с идентичными роторами. Для каждой уникальной схемы определён характер отвода почвы, степень унификации ножей и сложность привода. Предложена иерархическая методика выбора компоновки роторов, позволяющая на этапе проектирования обоснованно принимать решения в зависимости от агротехнических требований и производственных ограничений. Схемы с идентичными роторами целесообразны при необходимости минимизировать разброс почвы или создать максимальное усилие прижима.

Ключевые слова: вертикальная садовая фреза, двухроторный фрезерный рабочий орган, наклонная режущая кромка, компенсация осевых сил, идентичные роторы, компоновка ротора

Для цитирования: Мисиров М. Х., Егожев А. М., Апхудов Х. А. Обоснование компоновки роторов в рабочих органах садовой фрезы // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2026. № 3(53). С. 119–127. DOI: 10.55196/2411-3492-2026-3-53-119-127

Original article

Justification for the arrangement of rotors in the working parts of a garden rotary tiller

Mukhamad Kh. Misirov^{✉1}, Artyr M. Egozhev², Khasan A. Apkhudov³

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

^{✉1}misir56@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9752-1184>

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

³aphudov07@mail.ru <https://orcid.org/0009-0007-0134-0444>

Abstract. The use of knives with inclined cutting edges in vertical-axis garden tillers improves uniformity of tillage and enables targeted soil movement. This creates an axial milling force, absent with straight knives, which leads to significant reactive forces pushing or pressing the rotor vertically. This negatively impacts the tillage process. Twin-rotor tillers make it possible to compensate for the total axial force. The objective of this study is to systematically analyze all theoretically possible rotor configurations for a twin-rotor tiller and develop a methodology for selecting a rational design. A complete matrix of 16 ordered combinations is constructed, determined by the direction of rotor rotation, the orientation of the cutting edges, and the axial force vector. All variants are divided into two classes: those with zero total axial force (resulting in a moment of a force couple) and those with a non-zero total axial force. Ten physically feasible combinations were identified, including four designs with identical rotors. For each unique design, the soil removal pattern, the degree of blade standardization, and the drive complexity were determined. A hierarchical method for selecting rotor layouts is proposed, enabling informed decisions at the design stage based on agrotechnical requirements and production constraints. Designs with identical rotors are appropriate when it is necessary to minimize soil scattering or maximize downforce.

Keywords: vertical garden rotary tiller, twin-rotor rotary tool, inclined cutting edge, axial force compensation, identical rotors, rotor layout

For citation: Misirov MKh, Egozhev AM, Apkhudov KhA. Justification for the arrangement of rotors in the working parts of a garden rotary tiller. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2026;(3):119–127. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2026-3-53-119-127

Введение. Механизированная обработка почвы в междурядьях и приствольных полосах плодовых насаждений сопряжена с необходимостью обхода штамбов деревьев, что предъявляет специфические требования к конструкции почвообрабатывающей техники [1–3]. Наиболее адаптивными для таких условий являются садовые фрезы с вертикальной осью вращения рабочего органа. Их ключевым элементом является фрезерный рабочий орган (ФРО) – ротор (барабан) со съёмными ножами [4–6].

Эксплуатация фрез с вертикальной осью вращения выявила проблемы, связанные с колебаниями сил резания, а также с образованием гребней и борозд, вызванных перемещением и разбросом почвы с места резания [7–9].

Эффективность работы фрезы в значительной степени определяется геометрией режущих кромок ножей. Наряду с прямыми ножами ($\lambda = 0$) в конструкциях ФРО широко используются ножи с наклонными (косыми) режущими кромками ($\lambda \neq 0$). Их использование способствует более плавному и равномерному фрезерованию, а также обеспечивает направленное перемещение срезанного пласта почвы [10].

Однако при работе ФРО с наклонными ножами возникает принципиально новый си-

ловой фактор – активная осевая сила фрезерования P_O (рис. 1), направленная вдоль оси вращения ротора. Данная сила, с которой нож воздействует на почву, отсутствует при использовании прямых ножей. Возникающая как реакция на действие осевой силы со стороны обрабатываемой почвы реактивная сила P_X приложена уже к самому ФРО. Реактивная сила равна по величине и противоположна по направлению активной силе $P_O = P_X$ (рис. 1а). В зависимости от сочетания направления вращения и знака угла λ (левый или правый наклон), эта реактивная сила либо выталкивает ФРО из почвы P_B , либо прижимает его $P_{ПР}$ [10]. Эта сила приводит к ряду негативных последствий: нагружает подшипниковые узлы, вал и элементы крепления данного ротора и т.п.

В двухроторных конструкциях, когда два ФРО смонтированы на одной раме, возникает возможность силовой компенсации суммарной осевой силы (достижении $\sum P_X = 0$) при неизбежном появлении момента.

Настоящая работа посвящена системному анализу всех теоретически возможных компоновок двухроторного ФРО при выборе направления вращения и ножей и разработке инженерной методики выбора рациональной схемы.

Цель исследования – теоретическое обоснование и разработка методики выбора рациональной компоновки роторов двухроторного фрезерного рабочего органа садовой фрезы на основе всестороннего анализа всех возможных комбинаций направления вращения, ориентации ножей и векторов осевых сил в целях повышения надёжности и качества работы агрегата.

Задачи исследования:

1) формализовать описание состояния единичного ротора с наклонными ножами как совокупности трёх бинарных признаков: направление вращения ротора (правое – R / левое – L), тип наклона режущей кромки ножа (левый наклон – Lн / правый наклон – Rн), направление вектора реактивной осевой силы P_X (вверх $\uparrow$, $P_X = P_B$ / вниз $\downarrow$, $P_X = P_{пр}$);

2) построить полную матрицу всех теоретически возможных упорядоченных пар состояний для двухроторного агрегата и выделить физически реализуемые схемы компоновки;

3) классифицировать полученные комбинации по силовым характеристикам – суммарной осевой силе $\sum P_X$ и главному моменту M;

4) предложить алгоритм выбора рациональной компоновки в зависимости от агротехнической задачи и конструктивных ограничений;

5) разработать критерии для сравнительной оценки выделенных схем.

Материалы, методы и объекты исследования. Объектом исследования является двухроторный фрезерный рабочий орган садовой почвообрабатывающей фрезы с вертикальной осью вращения, оснащённый ножами с наклонными режущими кромками. Каждый ротор рассматривается как независимый модуль, характеризуемый тремя указанными параметрами. Исследования проводились с использованием положений теоретической механики и различных видов анализа (комбинаторный, силовой, классификационный, сравнительный).

Результаты исследования. 1. Базовые состояния единичного ротора ФРО. Направление вектора силы P_X однозначно определяется направлением вращения и ориентацией наклонной кромки ножа. На основе анализа работы [10] установлены возможные комбинации направления вращения ротора и наклона режущей кромки (табл. 1). Визуализация данных схем приведена на рисунке 1.

Таблица 1. Базовые состояния единичного ротора
Table 1. Basic states of a single rotor

Код состояния ротора (условное обозначение)	Направление вращения ротора	Наклон режущей кромки ножа	Направление вектора осевой силы P_X	Характер воздействия силы P_X на ФРО
S1	Правое (R)	Левый (Lн)	$\uparrow$ (вверх)	Выталкивание
S2	Правое (R)	Правый (Rн)	$\downarrow$ (вниз)	Прижим
S3	Левое (L)	Левый (Lн)	$\downarrow$ (вниз)	Прижим
S4	Левое (L)	Правый (Rн)	$\uparrow$ (вверх)	Выталкивание

2. Полная матрица комбинаций состояний двухроторного ФРО. Четыре базовых состояния ротора порождают 16 теоретически возможных упорядоченных комбинаций состояний двух роторов. Полный перечень представлен в таблице 2.

2.1. Анализ физической реализуемости. Из 16 теоретически возможных комбинаций 10 являются физически реализуемыми и могут быть использованы для решения конкретных агротехнических задач. К ним относятся: 1) 4 схемы класса K_1 с противоположно направ-

ленными векторами осевых сил (A1, A2, A3, A4); 2) 2 схемы класса K_2 с однонаправленными осевыми силами ($B\downarrow.1$, $B\uparrow.1$); 3) 4 схемы с идентичными роторами, также относящиеся к классу K_2 и отличающиеся кинематикой вращения ($S1|S1$, $S2|S2$, $S3|S3$, $S4|S4$). Они обладают теми же силовыми характеристиками (сонаправленные векторы P_X), что и схемы $B\downarrow.1$ и $B\uparrow.1$, но отличаются полной симметрией и специфической кинематикой вращений. Остальные 6 комбинации (5, 9, 10, 13, 14, 15) являются зеркальными, т. е. повторяемыми.

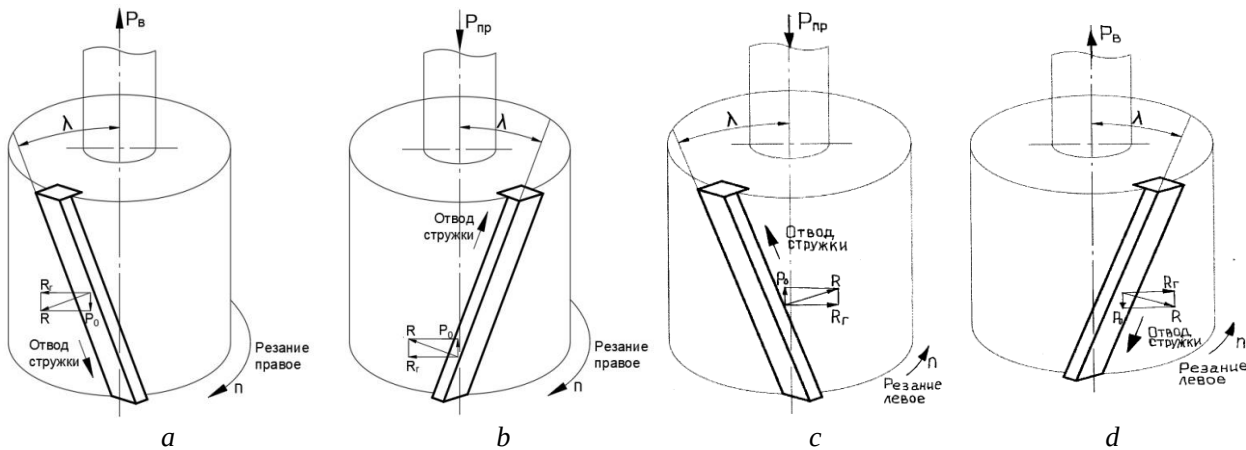


Рисунок 1. Базовые состояния единичного ротора фрезерного рабочего органа с наклонными ножами:

a – S1 (R, L_H); *b* – S2 (R, R_H); *c* – S3 (L, L_H); *d* – S4 (L, R_H)

Figure 1. Basic states of a single rotor of a milling working element with inclined knives:

a – S1 (R, L_H); *b* – S2 (R, R_H); *c* – S3 (L, L_H); *d* – S4 (L, R_H)

Таблица 2. Полная матрица комбинаций состояния двухроторного фрезерного рабочего органа

Table 2. Complete matrix of state combinations of a two-rotor milling working element

№	Комбинация роторов	Направление вектора P_X	Суммарная осевая сила $\sum P_X$	Момент пары сил	Класс	Обозначение схем
1	[S1 S1]	↑, ↑	$+2P_X$	≈ 0	$K_2 \uparrow$	B↑.2 (идентич.)
2	[S1 S2]	↑, ↓	0	$\neq 0$	K_1	A1
3	[S1 S3]	↑, ↓	0	$\neq 0$	K_1	A3
4	[S1 S4]	↑, ↑	$+2P_X$	≈ 0	$K_2 \uparrow$	B↑.1
5	[S2 S1]	↓, ↑	0	$\neq 0$	K_1	A1 (зерк.)
6	[S2 S2]	↓, ↓	$-2P_X$	≈ 0	$K_2 \downarrow$	B↓.2 (идентич.)
7	[S2 S3]	↓, ↓	$-2P_X$	≈ 0	$K_2 \downarrow$	B↓.1
8	[S2 S4]	↓, ↑	0	$\neq 0$	K_1	A4
9	[S3 S1]	↓, ↑	0	$\neq 0$	K_1	A3 (зерк.)
10	[S3 S2]	↓, ↓	$-2P_X$	≈ 0	$K_2 \downarrow$	B↓.1 (зерк.)
11	[S3 S3]	↓, ↓	$-2P_X$	≈ 0	$K_2 \downarrow$	B↓.2 (идентич.)
12	[S3 S4]	↓, ↑	0	$\neq 0$	K_1	A2
13	[S4 S1]	↑, ↑	$+2P_X$	≈ 0	$K_2 \uparrow$	B↑.1 (зерк.)
14	[S4 S2]	↑, ↓	0	$\neq 0$	K_1	A4 (зерк.)
15	[S4 S3]	↑, ↓	0	$\neq 0$	K_1	A2 (зерк.)
16	[S4 S4]	↑, ↑	$+2P_X$	≈ 0	$K_2 \uparrow$	B↑.2 (идентич.)

3. Классификация компоновок. Все 16 комбинаций разделены на два класса по значению суммарной осевой силы $\sum P_X$ (алгебраическая сумма реактивных осевых сил P_X всех роторов). Эта сила определяет общее вертикальное воздействие на раму агрегата и влияет на его устойчивость движения и заглубление.

3.1. Класс K_1 – компоновки с нулевой суммарной осевой силой. Условие: $\sum P_X = 0$ (векторы осевых сил P_X противоположно направлены). Силовая характеристика: главный вектор (суммарная осевая сила) равен нулю, главный момент (пара сил) $\sum M = P_X \times L \neq 0$, где L – расстояние между

осями роторов. Уникальные схемы, т. е. неповторяемые: 4 (A1, A2, A3, A4). Момент воспринимается рамой агрегата и должен учитываться при её расчёте.

3.2. Класс K_2 – компоновки с ненулевой суммарной осевой силой. Условие: $\sum P_X \neq 0$ (векторы осевых сил P_X сонаправленные). Для этого класса суммарная осевая сила $\sum P_X$ является также и результирующей силой системы. Силовая характеристика: суммарная осевая сила равна $\pm 2P_X$, момент пренебрежимо мал (силы практически коллинеарны).

Уникальные схемы: B↓.1 (прижим, $\sum P_X = -2P_X$), B↑.1 (выталкивание, $\sum P_X = +2P_X$), а также четыре схемы с идентичными роторами B↓.2, B↑.2 (S1|S1, S2|S2, S3|S3, S4|S4).

4. **Определение направления отвода почвы.** Направление перемещения срезанного почвенного пласта (отвод почвы) определяется активной силой P_O , приложенной к почве со стороны режущей кромки ножа. Согласно третьему закону Ньютона, активная сила равна по величине и противоположна по направлению реактивной осевой силе P_X , действующей на ротор. Следовательно, вектор направления отвода почвы всегда противоположен вектору осевой силы P_X на роторе.

Это положение позволяет по известному направлению P_X (табл. 1) однозначно определить технологический результат работы каждого ротора и всей компоновки в целом.

5. **Анализ уникальных схем класса K_1** ($\sum P_X = 0$). Для каждой схемы класса K_1 последовательно определим направление осевых сил и, применяя правило «отвод почвы противоположен вектору P_X », установим результирующее движение почвенных пластов.

Схема A1 [(R, Lн) | (R, Rн)]. Ротор 1: $P_X \uparrow$ (выталкивание) → отвод почвы ↓. Ротор 2: $P_X \downarrow$ (прижим) → отвод почвы ↑. Почвенные пласты направлены в противоположные стороны по вертикали, а с учётом вращения роторов (оба вправо) горизонтальная

составляющая отбрасывает почву от центра к краям междурядья.

Схема A2 [(L, Lн) | (L, Rн)]. Ротор 1: $P_X \downarrow \rightarrow$ отвод почвы ↑. Ротор 2: $P_X \uparrow \rightarrow$ отвод почвы ↓. Вертикальные потоки также противоположны; при одинаковом левом вращении почва смещается от краёв к центру, образуя валик.

Схема A3 [(R, Lн) | (L, Lн)]. Ротор 1: $P_X \uparrow \rightarrow$ отвод почвы ↓. Ротор 2: $P_X \downarrow \rightarrow$ отвод почвы ↑. Потоки почвы направлены навстречу друг другу (один вниз, другой вверх), а из-за встречного вращения роторов почва активно перемешивается в центральной зоне.

Схема A4 [(R, Rн) | (L, Rн)]. Ротор 1: $P_X \downarrow \rightarrow$ отвод почвы ↑. Ротор 2: $P_X \uparrow \rightarrow$ отвод почвы ↓. Аналогично A3 – встречные вертикальные потоки и интенсивное крошение в центре.

6. **Анализ уникальных схем класса K_2** ($\sum P_X \neq 0$). В схемах класса K_2 векторы P_X сонаправлены, поэтому отвод почвы на обоих роторах также одинаков. Это приводит к возникновению ненулевой суммарной осевой силы.

Схема B↓.1 [(R, Rн) | (L, Lн)]. Ротор 1: $P_X \downarrow \rightarrow$ отвод почвы ↑. Ротор 2: $P_X \downarrow \rightarrow$ отвод почвы ↑. Оба потока направлены вверх, а при встречном вращении они сходятся к центру. Суммарная осевая сила $\sum P_X = -2P_X$ прижимает агрегат к почве, что может быть использовано для увеличения заглубления на плотных грунтах.

Схема B↑.1 [(R, Lн) | (L, Rн)]. Ротор 1: $P_X \uparrow \rightarrow$ отвод почвы ↓. Ротор 2: $P_X \uparrow \rightarrow$ отвод почвы ↓. Оба потока направлены вниз, при встречном вращении они также сходятся к центру. Суммарная осевая сила $\sum P_X = +2P_X$ выталкивает агрегат, что требует компенсации дополнительной массой или гидросистемой и может быть полезно при глубоком рыхлении или террасировании.

Схемы B↓.2 и B↑.2 с идентичными роторами описываются аналогичным образом, так как создают похожую силовую картину, что и схемы B↓.1 и B↑.1. Эти схемы могут быть использованы для целенаправленного

перемещения почвы обоими роторами верх (S2|S2, S3|S3) или вниз (S1|S1, S4|S4) для формирования рельефа поверхности. Идентичные схемы обеспечивают максимальную унификацию ножей и могут быть использованы, когда требуется минимальный разброс почвы (отвод вниз) либо максимальное заглубление (отвод вверх) при готовности компенсировать возникающую суммарную осевую силу конструктивными мерами.

7. Алгоритм выбора рациональной компоновки. На основе проведённого анализа разработан алгоритм выбора рациональной схемы роторов:

1) необходимы ли технологические преимущества косых ножей? Если нет – применяются прямые ножи, осевая нагрузка отсутствует;

2) допустима ли ненулевая суммарная осевая сила $\sum P_x$? Если да, требуется прижим – выбирается схема B↓.1 или идентичные прижимные схемы (S2|S2, S3|S3); если требуется интенсивный выброс почвы вверх – B↑.1 или идентичные выталкивающие схемы (S1|S1, S4|S4) (при этом необходимо усиление рамы и проверка устойчивости);

3) если ненулевая суммарная осевая сила $\sum P_x$ недопустима – выбирается класс K₁ ($\sum P_x = 0$);

4) приоритетна ли унификация ножей? Если да, выбираются схемы A3 или A4; выбор между ними определяется требуемым направлением отвода почвы (встречные потоки в обоих случаях) или компоновкой привода;

5) если унификация необязательна, и требуется простой привод без реверса, выбираются схемы A1 или A2; выбор – по необходимому направлению отвода почвы (A1 – к краям, A2 – к центру).

Практические рекомендации. Проведённый анализ показывает, что выбор рациональной схемы двухроторного ФРО должен определяться приоритетами конкретной конструкции и агротехническими требованиями. Выбор может основываться на комплексе оценочных критериев.

1. Технологичность и унификация. Схемы с одинаковыми ножами на обоих роторах (A3, A4, а также идентичные S1|S1, S2|S2, S3|S3, S4|S4) предпочтительны с точки зрения производства и эксплуатации, так как

они сокращают номенклатуру запасных частей и упрощают обслуживание. Если унификация является приоритетом, а требования к направлению отвода почвы не критичны, оптимальным выбором становятся схемы A3 или A4.

2. Направление отвода почвы. Если требуется отводить почву от центра междурядья к краям (например, для очистки приствольной полосы), применяются схемы с соответствующим сочетанием вращения и наклона ножей (например, A1 или S1|S1). Для формирования центрального валика или встречного крошения в центре выбираются схемы, направляющие потоки навстречу друг другу (A2, A3, A4, S4|S4), а также специальные (B↓.1 и B↑.1). Каждая комбинация имеет свои особенности при формировании рельефа поверхности.

3. Расположение приводов и кинематическая схема. Этот критерий определяет конструктивную сложность трансмиссии. Схемы с одинаковым направлением вращения обоих роторов (A1, A2, S1|S1, S2|S2) допускают простой привод от одного вала или стандартной цепной (ременной) передачи. Схемы со встречным вращением (A3, A4, S1|S4, S3|S2) требуют применения реверсивных механизмов, что усложняет конструкцию и увеличивает её стоимость.

Приведённый перечень критериев не является исчерпывающим и может быть дополнен в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

Выводы. 1. Построена и проанализирована полная матрица из 16 теоретически возможных упорядоченных комбинаций двухроторного ФРО с наклонными ножами. Установлено, что из них 10 являются физически реализуемыми и могут быть использованы для решения конкретных агротехнических задач.

2. Разработана классификация компоновок по значению суммарной осевой силы и наличию момента, позволяющая на ранних этапах проектирования оценить характер нагружения агрегата и выбрать целевой класс схем.

3. Предложена система критериев для выбора оптимального варианта компоновки в зависимости от доминирующих эксплуатационных и агротехнических требований.

4. Создана методика выбора рациональной компоновки (направление вращения роторов, ориентация ножей), реализованная в виде алгоритма, в зависимости от агротехнических требований и производственных ограничений.

5. Для универсальных садовых фрез, работающих в различных условиях, оптимальны схемы класса K_1 , в особенности A_3 и A_4

(унифицированные ножи, встречное вращение). Идентичные схемы класса K_2 (например, $S1|S1$ или $S4|S4$) целесообразны для целенаправленного перемещения почвы вниз при необходимости минимизировать разброс почвы, а схемы $B\downarrow.1$ и $B\uparrow.1$ – при наличии специальных требований к прижиму или выталкиванию агрегата.

Список литературы

1. Дручинин Д. Ю., Бухтояров Л. Д., Гнусов М. А. Исследование кинематики фрезерного орудия для ухода за насаждениями в рядах деревьев с линейным удалением рабочего органа // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2025. № 4(68). С. 52–61. DOI: 10.25686/2306-2827.2025.4.52. EDN: HCDIWU
2. Блохин В. Н., Случевский А. М. Фреза садовая с вертикальной или крутонаклонной осью вращения // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. науч. тр. XIII Международной научно-практической конференции. Книга 2. Барнаул: ФГБОУ ВО Алтайский государственный аграрный университет, 2018. С. 152–154. EDN: YWLCDW
3. Mathematical model for calculating the parameters of machines for processing near-trunk strips in a terrace / A. Apazhev, A. Egozhev, M. Misirov [et al.]. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 262. P. 01019. DOI: 10.1051/e3sconf/202126201019. EDN: JTXXJF
4. Патент 214799 Российская Федерация, МПК A01B 39/20; A01B 39/26. Фреза для террасного сада / А. М. Егожев, А. К. Апажев, М. Х. Мисиров, Е. А. Полищук, А. А. Егожев; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. № 2022115620; заявл. 08.06.2022; опубл. 15.11.2022, Бюл. № 32.
5. Оптимизация параметров и режимов работы фрезерного рабочего органа агрегата для обработки междурядий и приствольных полос плодовых насаждений / А. Л. Хажметова, А. К. Апажев, Ю. А. Шехихачев [и др.] // АгроЭкоИнфо. 2019. № 3(37). С. 37. EDN: GEURAH
6. Купряшкин В. Ф., Шляпников М. Г. Анализ рабочих органов почвообрабатывающих фрез с вертикальной осью вращения // Машиноведение. 2019. № 1(9). С. 105–113. EDN: KQPZRF
7. К вопросу способов крепления активных рабочих органов к роторам фрез с вертикальной осью вращения / А. М. Случевский, Г. В. Орехова, К. Х. Заиров, К. А. Муминов // Вестник Брянской ГСХА. 2022. № 6(94). С. 66–69. DOI: 10.52691/2500-2651-2022-94-6-66-69. EDN: GTNLDJ
8. Ожерельев В. Н., Ожерельева М. В. Особенности применения вертикальной фрезы для обработки почвы в междурядьях малины // Агроинженерия. 2021. № 5(105). С. 20–24. DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-4-20-24. EDN: POZPO
9. Ожерельев В. Н. Поперечный перенос почвы вертикальным ротором с L-образными наружу отогнутыми ножами // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции. Часть 2. Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. С. 119–123. EDN: KPUNGB
10. Мисиров М. Х., Егожев А. А., Алиев Н. А. Обоснование конструктивных элементов рабочих органов почвообрабатывающих фрез // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2023. № 3(41). С. 113–122. DOI: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-113-122. EDN: IGDVTF

References

1. Druchinin DYu, Bukhtoyarov LD, Gnusov MA. Research of the kinematics of a rotary cultivator for the care of plantings in rows of trees with linear removal of the working. *Vestnik of Volga state university of technology. Series: Forest. Ecology. Nature management*. 2025;(4):52–61. (In Russ.). DOI: 10.25686/2306-2827.2025.4.52. EDN: HCDIWU

2. Blokhin VN, Sluchevsky AM. Garden tiller with a vertical or steeply inclined axis of rotation. *Agrarnaya nauka – sel'skomu hozyajstvu: sb. nauch. tr. XIII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Kniga 2* [Agrarian science for agriculture: collection of scientific papers from the XIII International scientific and practical conference. Book 2]. Barnaul: FGBOU VO Altajskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2018. Pp. 152–154. (In Russ.). EDN: YWLCDW
3. Apazhev A, Egozhev A, Misirov M [et al.]. Mathematical model for calculating the parameters of machines for processing near-trunk strips in a terrace. *E3S Web of Conferences*. 2021;262:01019. (In Russ.). DOI: 10.1051/e3sconf/202126201019. EDN: JTXJF
4. Egozhev AM, Apazhev AK, Misirov MKh, Polishchuk EA, Egozhev AA. Terrace garden milling cutter. Patent 214799 Russian Federation, IPC A01B 39/20; A01B 39/26; applicant and patent holder FSBEI HE Kabardino-Balkarian SAU. No. 2022115620; dec. 08.06.2022; publ. 15.11.2022, Bull. No. 32. (In Russ.)
5. Khazhmetova AL, Apazhev AK, Shekihachev YuA [et al.]. Optimization of parameters and operating modes of the milling working element of the unit for processing row spacing and trunk strips of fruit plantings. *AgroEcoInfo*. 2019;(3):37. (In Russ.). EDN: GEURAH
6. Kupryashkin VF, Shlyapnikov MG. Analysis of operating elements of tillers with a vertical axis of rotation. *Machinery researching*. 2019;(1):105–113. (In Russ.). EDN: KQPZRF
7. Sluchevsky AM, Orekhova GV, Zairov KKh, Muminov KA. To the question of fastening active working bodies to the rotors of milling cutters with a vertical rotation axis. *Vestnik of the Bryansk state agricultural academy*. 2022;(6):66–69. (In Russ.). DOI: 10.52691/2500-2651-2022-94-6-66-69. EDN: GTNLDJ
8. Ozherelyev V.N., Ozhereleva M.V. Peculiarities of using the vertical rotary cultivator for inter-row soil tillage of raspberry plantings. *Agricultural Engineering*. 2021;(5):20–24. (In Russ.). DOI: 10.26897/2687-1149-2020-5-4-20-24. EDN: IIOZPO
9. Ozhereliev V.N. Transverse soil transfer by a vertical rotor with L-shaped outwardly curved knives. *Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. Chast' 2* [Energy efficiency and energy saving in modern production and society: Proceedings of the international scientific and practical conference. Part 2]. Voronezhskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet im. Imperatora Petra I, 2021. Pp. 119–123. (In Russ.). EDN: KPUNGB
10. Misirov M.Kh., Egozhev A.A., Aliev N.A. Justification of the structural elements of the working bodies of the tilling cutter. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2023;(3):113–122. (In Russ.). DOI: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-113-122. EDN: IGDDBTF

Сведения об авторах

Мисиров Мухамад Хусаинович – кандидат технических наук, доцент кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 7162-6895

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: 3010-1715, Scopus ID: 6505576211, Researcher ID: AAB-3748-2020

Апхудов Хасан Асланович – аспирант кафедры технической механики и физики, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 1826-9820

Information about the authors

Mukhammad Kh. Misirov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 7162-6895

Artyr M. Egozhev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agricultural University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 3010-1715, Scopus ID: 6505576211, Researcher ID: AAB-3748-2020

Khasan A. Apkhudov – Postgraduate student of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 1826-9820

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

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

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

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

*Статья поступила в редакцию 10.03.2026;
одобрена после рецензирования 31.03.2026;
принята к публикации 11.06.2026.*

*The article was submitted 10.03.2026;
approved after reviewing 31.03.2026;
accepted for publication 11.06.2026.*