

Научная статья

УДК 631.317

doi: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-113-122

## Обоснование конструктивных элементов рабочих органов почвообрабатывающих фрез

Мухамад Хусаинович Мисиров<sup>✉1</sup>, Аскер Артурович Егожев<sup>2</sup>,  
Низам Алейдарович Алиев<sup>3</sup>

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

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

<sup>2</sup>egozhev2017@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2977-7791>

<sup>3</sup>07nizam1997@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2943-4462>

**Аннотация.** В статье рассмотрены особенности процесса фрезерования для обоснования конструктивных элементов рабочих органов почвофрезы прямой формы с вертикальной осью вращения. При проведении исследований использованы методы теории резания и проектирования режущих инструментов, а также метод аналогий для анализа процесса фрезерования почвы и поиска новых решений по фрезерным рабочим органам. При исследовании процесса почвофрезерования в качестве аналога режущего инструмента рассматривались торцовые и концевые металлорежущие фрезы. Выявленное сходство процессов обработки металлорежущими фрезами и рабочими органами почвофрезы позволило использовать некоторые физические и математические модели процесса работы металлорежущих фрез для описания процесса фрезерования рабочими органами почвофрезы. Используемые модели хорошо согласуются с практическими и теоретическими данными по фрезерованию почвы. Приводятся обоснования необходимости того или иного конструктивного элемента фрезерных рабочих органов, а также определены их функциональное назначение и влияние на процесс работы. Показано, что для повышения эффективности процесса фрезерования необходимо повышать равномерность фрезерования путем увеличения количества одновременно работающих ножей и использования ножей с косыми режущими кромками. Приводится методика определения необходимого количества ножей, как с прямыми, так и с косыми режущими кромками. Обоснована необходимость использования ножей с косыми режущими кромками. Требуемый угол наклона режущей кромки ножа, при котором процесс фрезерования будет равномерным, определяется расчетом.

**Ключевые слова:** обработка почвы, почвообрабатывающая фреза, фреза с вертикальной осью вращения, рабочие органы почвообрабатывающей фрезы, угол наклона режущей кромки ножа, почвенная фреза, фрезерный нож

**Для цитирования.** 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

Original article

### Justification of the structural elements of the working bodies of the tilling cutter

Mukhamad Kh. Misirov<sup>✉1</sup>, Asker A. Egozhev<sup>2</sup>, Nizam A. Aliev<sup>3</sup>

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

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

<sup>2</sup>egozhev2017@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2977-7791>

<sup>3</sup>07nizam1997@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2943-4462>

**Abstract.** The article discusses the features of the milling process to justify the structural elements of the working bodies of a straight rotator with a vertical axis of rotation. During the research, methods of cutting theory and design of cutting tools were used, as well as the analogy method for analyzing the process of soil milling and searching for new solutions for milling working bodies. When studying the process of soil milling, face and end metal-cutting mills were considered as an analogue of a cutting tool. The revealed similarity of the processes of processing by metal-cutting cutters and the working bodies of the rotator has made it possible to use some physical and mathematical models of the process of operation of metal-cutting cutters to describe the process of milling by the working bodies of the rotator. The models used are in good agreement with practical and theoretical data on soil milling. Substantiations of the need for one or another structural element of milling working bodies are given, as well as their functional purpose and influence on the work process are determined. It is shown that in order to increase the efficiency of the milling process, it is necessary to increase the uniformity of milling by increasing the number of simultaneously working knives and using knives with oblique cutting edges. A method for determining the required number of knives, both with straight and oblique cutting edges, is given. The necessity of using knives with oblique cutting edges is substantiated. The required angle of inclination of the cutting edge of the knife, at which the milling process will be steady, is determined by calculation.

**Keywords:** tillage, soil tillage cutter, cutter with a vertical axis of rotation, working bodies of a tillage cutter, angle of inclination of the cutting edge of the knife, soil cutter, milling knife

**For citation.** 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(41):113–122. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2023-3-41-113-122

**Введение.** В последнее время для выполнения агротехнических мероприятий в садах, связанных с механической обработкой почвы, используют почвообрабатывающие машины с ротационными органами принудительного вращения, которые получили название «фреза», «почвообрабатывающая фреза». Технические требования к фрезам приведены в ГОСТ 28516-90. Этим же стандартом регламентируются агротехнические требования, которые должны обеспечивать почвообрабатывающие фрезы. Рабочим органом фрезы является фрезерный барабан (ротатор), на котором закреплены ножи (лезвия) и который условимся называть термином «фрезерный рабочий орган» (ФРО).

Отметим, что в машиностроении, деревообработке и других отраслях промышленности под понятием «фреза» подразумевается не машина, а многолезвийный режущий инструмент, и процесс обработки, соответственно, называется фрезерованием.

Наиболее широко в сельскохозяйственном производстве используются фрезы с горизонтальной осью вращения, как более производительный способ обработки. Для данного способа разработано и используется на практике много разновидностей ФРО. Для

стесненных условий обработки, вызванных наличием различных насаждений, которые необходимо обходить, используют фрезы с вертикальной осью вращения [1–4]. Процесс работы данными фрезами менее изучен и нет устоявшихся конструкций рабочих органов для данного способа фрезерования.

Повышение эффективности рабочих органов и их разработка является актуальной задачей, так как без соответствующего рабочего органа не может быть эффективной работа самой совершенной почвообрабатывающей фрезы.

**Цель исследования** – проанализировать особенности фрезерования для формирования и обоснования технических требований к конструктивным элементам рабочих органов фрезы для вертикального фрезерования, направленных на повышение эффективности работы.

**Материалы, методы и объекты исследования.** База для исследования – математические и физические модели процесса фрезерования различных металлов и неметаллических материалов (почвы), а также экспериментальные данные по их обработке. При проведении исследований были использованы методы теории резания и проектирования

режущих инструментов, а также метод аналогий для анализа процесса фрезерования почвы и поиска новых решений по ФРО. Объектом исследования являются рабочие органы почвообрабатывающих фрез прямой формы с вертикальной осью вращения.

**Результаты исследования.** Со времен основоположника теории почвообрабатывающего клина Горячкина В. П. при разработке основ почвообработки широко использовались опыт и теория металлообработки как наиболее исследованные. В процессе обработки металлов накоплен большой практический и научный опыт, выявлены особенности, присущие конкретному виду механической обработки. Все эти знания используются при проектировании и эксплуатации режущих инструментов. Конструкции металлорежущих фрез (МРФ), технические требования к ним, которые вобрала в себя многолетний опыт проектирования и эксплуатации, регламентируются множеством ГОСТ в отличие от рабочих органов почвофрез. Каждый конструктивный элемент МРФ проверен временем и практикой, отработан десятилетиями практической эксплуатации. Поэтому использование опыта и знаний применения этого инструмента для решения задач почвообработки является вполне логичным шагом.

Выбор метода исследования и аналога ФРО. Анализ работы ФРО и МРФ показывает, что между этими режущими инструментами для фрезерования почвы и металлических материалов есть много общего, что позволяет использовать метод аналогий для обоснования необходимости того или иного конструктивного элемента ФРО и повышения его эффективности.

Метод аналогий – это способ поиска и получения новых знаний о предмете (процессе) на основании его сходства с другим (аналогом), который более изучен, т. е. это метод, основанный на переносе знаний об одном предмете (процессе) на другой, менее изученный [4–6].

Применительно к нашей задаче суть метода аналогии заключается в следующем. Поиск аналогов и использование знаний, решений, заложенных в них для создания эффективных конструкций рабочих органов почвофрезы, а также использование матема-

тических и физических моделей процесса фрезерования МРФ для описания процесса работы ФРО.

Аналогом вертикального почвофрезерования принято вертикальное фрезерование металлических материалов МРФ. В обоих случаях обработка производится инструментом, имеющим в качестве главного движения резания вращательное движение режущего инструмента и одно движение подачи, т. е. кинематика движения при обработке одинаковая. Кроме того в обоих случаях используется режущий инструмент в форме тела вращения.

Анализ научно-технической литературы [6–9] показывает, что среди большого количества МРФ аналогом могут быть выбраны торцовые и концевые фрезы, наиболее соответствующие работе ФРО прямой формы. Эти фрезы имеют режущие лезвия на боковой и торцовой поверхности, т. е. данные фрезы предназначены для бокового и торцового фрезерования.

Сравнивая работу МРФ и рабочих органов почвообрабатывающих фрез [1, 4, 6–8], можно отметить сходство между инструментами и специфические особенности процесса вертикального фрезерования металла и почвы:

- 1) в основе этих инструментов лежит режущий клин;
- 2) они являются многолезвийными (многозубыми) инструментами, каждый зуб представляет собой вращающийся резец;
- 3) прерывистость и кратковременность работы каждого зуба МРФ и ножа ФРО;
- 4) переменность толщины срезаемой стружки за время контакта зуба МРФ и ножа ФРО с обрабатываемым материалом;
- 5) пульсация сил резания;
- 6) одновременно происходит попутное и встречное фрезерование;
- 7) МРФ и ФРО совершают одинаковые движения при обработке.

Функциональное назначение элементов рабочих органов. Каждый конструктивный элемент МРФ выполняет определенную функцию. Например, зубья деформируют и срезают определенный объем материала с необходимым качеством обрабатываемой поверхности; межлезвийное пространство (стружечная канавка) служит для размеще-

ния и транспортирования стружки из зоны резания; угол наклона режущего лезвия служит для отвода стружки из зоны резания в нужном направлении, а также для повышения равномерности фрезерования.

Проецируя вышесказанное на почвообрабатывающие рабочие органы, можно отметить, что для них не требуется вынос почвы из зоны резания, т. е. почву необходимо только крошить, не транспортируя с места разрушения.

Таким образом, если для МРФ необходимо не только срезать, но и отводить срезаемый материал из зоны резания, то для рабочих органов почвообрабатывающей фрезы такой необходимости нет. Это упрощает конструкцию, т. е. стружечные канавки, отводящие режущие зубья, не нужны.

Тогда в терминах ГОСТ 25751-83 можно сформулировать определение ФРО как сборный режущий инструмент без стружечных канавок, с разъемным соединением его ножей, частей и элементов.

Основные конструктивные элементы ФРО. Анализ научно-технической литературы и опыта практического использования МРФ и ФРО показывает, что на процесс фрезерования существенно влияют следующие конструктивные элементы инструментов:

- 1) диаметр режущего инструмента  $D$ , мм;
- 2) число зубьев (число ножей);
- 3) угол наклона зубьев (режущей кромки ножа), град.;
- 4) геометрия режущего клина зубьев, ножа (углы режущей кромки, град.).

Рассмотрим, как и на что влияют эти элементы ФРО в процессе работы и выявим, чем надо руководствоваться при определении их значений. Для этого, исходя из сходства процессов обработки МРФ и ФРО, используем некоторые физические и математические модели процесса работы МРФ для описания процесса фрезерования ФРО. Используемые модели хорошо согласуются с практическими и теоретическими данными по фрезерованию почвы.

Диаметр ФРО. Наружный диаметр  $D$  ФРО назначается конструктивно, исходя из глубины резания и ширины фрезерования, количества ножей.

Число ножей. При выборе числа ножей ФРО  $z$  необходимо стремиться к удовлетво-

рению условия равномерности фрезерования [9]. Данное условие определяет, что в процессе фрезерования на дуге контакта должно находиться не менее двух одновременно работающих ножей ФРО  $Z_{o.p.}$ . Условие равномерности резания можно записать:

$$Z_{o.p.} = \frac{\psi}{\varepsilon} \geq 2, \quad (1)$$

где:

$\psi$  – угол контакта ФРО с обрабатываемой поверхностью – центральный угол, соответствующий дуге контакта ФРО с заготовкой, град.;

$\varepsilon = 360^\circ/z$  – центральный угол между двумя соседними ножами ФРО, град.

Условие равномерности фрезерования (1) запишем в следующем виде:

$$Z_{o.p.} = \frac{\psi \cdot z}{360^\circ} \geq 2. \quad (2)$$

Из условия (2) можно определить необходимое число ножей для ФРО с прямыми режущими кромками:

$$z = \frac{Z_{o.p.} \cdot 360^\circ}{\psi}. \quad (3)$$

Для рассматриваемой нами схемы фрезерования (рис. 1)  $D=B$ ,  $\psi=180^\circ$  и при  $Z_{o.p.} = 2$  из соотношения (3) следует, что минимальное необходимое число ножей равно  $z = 4$ . Данный результат хорошо согласуется с практикой использования ФРО с четырьмя и более ножами.

Для ФРО с косыми режущими кромками число ножей определяется по формуле [8]:

$$z = \frac{K \cdot \pi \cdot D}{B \cdot \operatorname{tg} \lambda}, \quad (4)$$

где:

$K$  – коэффициент равномерности фрезерования, равный целым числам: 1, 2, 3 и т. д.;

$\lambda$  – угол наклона режущей кромки ножей к оси ФРО, град.;

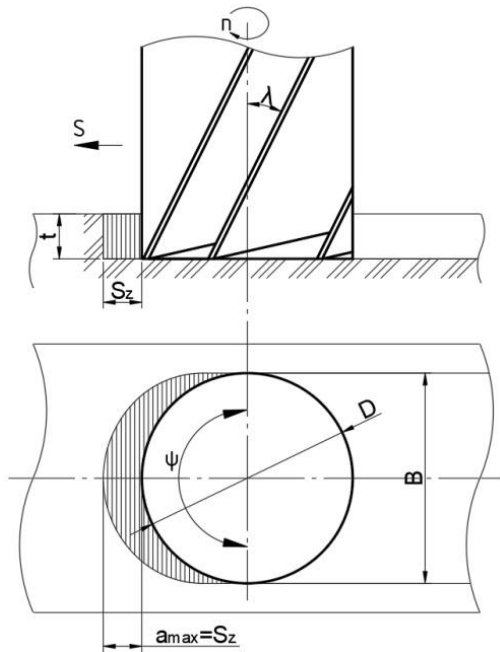
$B$  – ширина фрезерования, мм;

$D$  – диаметр ФРО, мм.

При проектировании новых ФРО порядок определения конструктивных элементов режущего инструмента может быть следую-

щим: определяют диаметр  $D$  и число ножей  $z$  ФРО, потом по уравнению (4) находят требуемый угол наклона режущей кромки ножа  $\lambda$ , при котором процесс фрезерования будет равномерным. Так как в принятой схеме фрезерования (рис. 1)  $D=B$ , уравнение (4) можно представить в следующем виде:

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{K \cdot \pi}{z} \quad (5)$$



**Рисунок 1.** Схема фрезерования:

$D$  – диаметр ФРО;  $B$  – ширина фрезерования;  
 $\psi$  – угол контакта ФРО с обрабатываемой  
 поверхностью;  $a$  – толщина срезаемого слоя;  
 $S_z$  – подача на один нож ФРО;  
 $n$  – частота вращения ФРО

**Figure 1.** Milling scheme:

$D$  – milling tool (MT) diameter;  $B$  – milling width;  
 $\psi$  – is the contact angle of the MT with the treated  
 surface;  $a$  – thickness of the cut layer;  
 $S_z$  – feed per MT knife;  $n$  – is the frequency  
 of rotation of the MT

По формуле (5) определим угол наклона режущей кромки ножей ФРО при различных значениях коэффициента равномерности фрезерования  $K = 1, 2, 3$ . Примем, что число ножей  $z = 4$ . При  $K = 1, 2, 3$  угол наклона режущей кромки ножей соответственно равен  $\lambda_1 = 38^\circ$ ,  $\lambda_2 = 57,6^\circ$ ,  $\lambda_3 = 67^\circ$ .

В результате экспериментальных исследований [10] процесса фрезерования приствольных полос и междурядий ФРО с числом но-

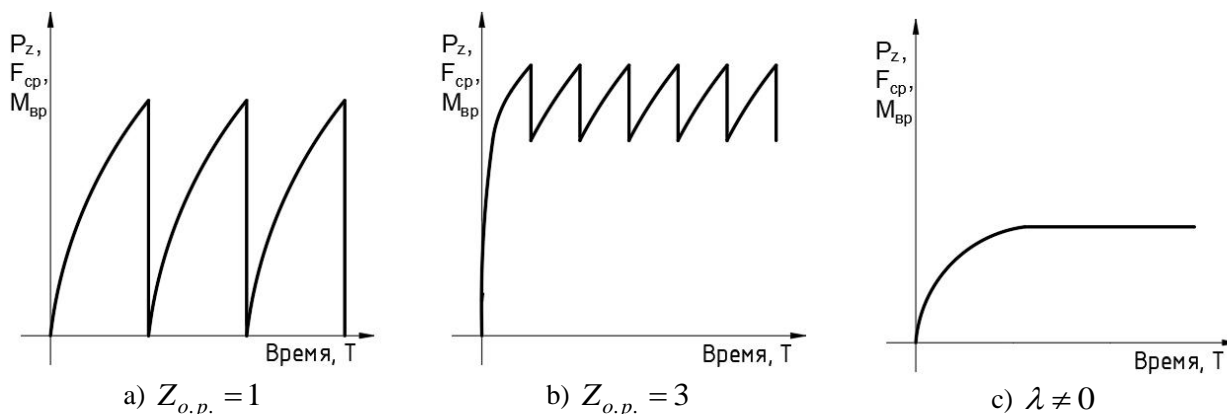
жей  $z = 2$  установлено, что качество крошения почвы максимальное при угле установки (в терминах данной статьи – угол наклона режущей кромки ножа) ножей фрезы  $63$  градусов. Теоретическое значение угла наклона режущей кромки ножей по формуле (5) равно  $\lambda_1 = 58^\circ$  при  $K = 1$  и  $\lambda_2 = 72^\circ$  при  $K = 2$ . Среднее значение угла наклона  $\lambda_{cp} = 65^\circ$ . Данный результат хорошо согласуется с экспериментальными данными и свидетельствует об адекватности принятой модели.

На выбор числа ножей влияют конструктивные элементы как диаметр ФРО, размеры ножей и их крепления, так и эксплуатационные требования: равномерность фрезерования, сила сопротивления резанию и потребляемая мощность, требуемая производительность обработки. Увеличение числа ножей позитивно влияет на процесс обработки с точки зрения повышения равномерности и производительности фрезерования. Графическое представление характера изменения силы резания, площади срезаемого сечения и вращающего момента в зависимости от числа одновременно работающих ножей в зоне контакта приведено на рисунке 2.

В идеале процесс фрезерования будет равномерным, если суммарная площадь срезаемого слоя в процессе всей работы остается постоянной, как на рисунке 2. При равномерном фрезеровании и сила резания постоянная. Например, при работе ФРО с прямыми режущими кромками с  $Z_{o.p.} = 1$  (рис. 2а) суммарная площадь срезаемого слоя изменяется от нуля до максимального значения, затем процесс повторяется с  $Z_{o.p.} = 3$  (рис. 2б).

Объясняется это тем, что в процессе работы нож ФРО входит в контакт с обрабатываемой заготовкой и выходит из него сразу по всей ширине фрезерования. Соответственно, аналогично, колеблется сила резания, и появляются вибрации, что негативно влияет на всю систему ФРО – почвофреза – привод. Равномерное фрезерование, как на рисунке 2с, возможно только при работе ФРО с ножами с косыми режущими кромками ( $\lambda \neq 0$ ).

Угол наклона режущей кромки ножей. Еще одним конструктивным элементом, влияющим на эффективность обработки, является угол наклона режущей кромки ножа  $\lambda$ . Используемые на практике ФРО имеют ножи с прямыми режущими кромками ( $\lambda = 0$ ) и с косыми (наклонными) ( $\lambda \neq 0$ ) режущими кромками.



**Рисунок 2.** Характер изменения силы резания  $P_z$ , площади срезанного сечения  $F_{cp}$  и вращающего момента  $M_{vp}$  в зависимости от числа одновременно работающих ножей (a, b)  $Z_{o.p.}$  ( $\lambda = 0$ ) и их изменение при равномерном фрезеровании (c) ( $\lambda \neq 0$ )

**Figure 2.** The nature of the change in the cutting force  $P_z$ , the area of the cut section  $F_{cp}$  and the torque  $M_{vp}$  depending on the number of simultaneously working knives (a, b)  $Z_{o.p.}$  ( $\lambda = 0$ ) and their change during uniform milling (c) ( $\lambda \neq 0$ )

Угол наклона режущей кромки ножа:

- 1) улучшает плавность и равномерность фрезерования;
- 2) повышает виброустойчивость ФРО;
- 3) влияет на направление схода стружки;
- 4) повышает стойкость ФРО вследствие увеличения кинематических передних углов.

ФРО с косыми режущими кромками по сравнению с ФРО с прямыми режущими кромками обладают целым рядом преимуществ. Так, меняя направление вращения инструмента и наклон режущих кромок ножа, можно изменить направления движения срезаемой стружки и сил, действующих на ФРО (рис. 3), т. е. отвод стружки может осуществляться по направлению вверх или вниз, а силы, действующие на ФРО, будут его прижимать или выталкивать из зоны обработки.

Так, например, для отвода стружки вверх при правом резании необходимо, чтобы направление ножей тоже было правым, как показано на рисунке 3б. Отвод стружки вверх не всегда удобен, т. к. необходимо преодолеть сопротивление силы тяжести стружки.

Для почвофрезерования наиболее приемлемым является вариант, когда направления резания и ножей разноименные (например, резание правое и наклон ножей левый), чтобы отвести почву вниз и минимизировать разброс почвы в процессе обработки (рис. 3а).

Практика работы почвообрабатывающих фрез показывает наличие проблемы перемеще-

ния, разброса почвы с места резания, что вызывает образование гребней и борозд [11–16].

Геометрия режущего клина ножа. Образно можно представить, что нож фрезы представляет собой вращающийся резец, закрепленный в теле ФРО. Поэтому определение и назначение геометрических параметров режущей кромки ножа такое же, как и у токарных резцов.

В работе [17] получено, что при резании почвы угол действия почвообрабатывающего клина положительный,  $\omega > 0$  и связан с геометрическими параметрами клина соотношением:

$$\omega = 90^\circ - \delta - \theta, \quad (6)$$

где:

$\delta$  – угол резания (угол крошения), град.;

$\theta$  – угол трения, град.

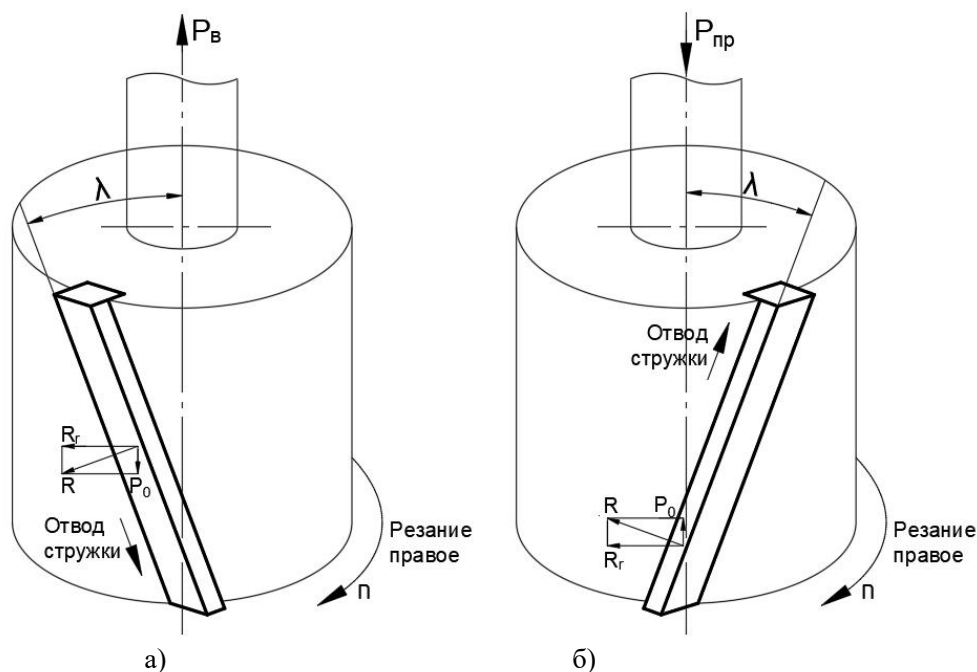
Увеличение угла действия приводит к росту отрывающей силы, которая превалирует над сдвигающей силой. Условие разрушения путем преобладающего отрыва, когда сила отрывная увеличивается, а сдвигающая сила уменьшается, можно записать в следующем виде:

$$\omega \rightarrow 90^\circ. \quad (7)$$

На практике необходимо стремиться, чтобы данное условие выполнялось, так как чем выше отрывная составляющая деформации, тем меньше энергоёмкость процесса обработ-

ки. Из уравнения (6) следует, что условие (7) выполняется при  $(\delta + \theta) \rightarrow \min$ . Так как угол трения – величина малорегулируемая, то для минимизации энергоемкости обработки необ-

ходимо, чтобы угол резания режущей кромки ножа  $\delta \rightarrow \min$ . Минимальное значение угла резания лимитируется прочностью лезвия.



**Рисунок 3.** Графическая модель влияния направлений режущей кромки ножей и резания на направление отвода стружки и направление сил резания (силы, действующие на обрабатываемый материал):

$R$  – результирующая сила резания;  $P_o$  – осевая сила;  $R_r$  – горизонтальная сила резания;  $P_{пр}$  – сила, прижимающая ФРО к поверхности обработки;  $P_B$  – сила, выталкивающая ФРО

**Figure 3.** Graphical model of the influence of the directions of the cutting edge of knives and cutting on the direction of chip removal and the direction of cutting forces (forces acting on the material being processed):

$R$  – is the resulting cutting force;  $P_o$  – axial force;  $R_r$  – horizontal cutting force;  $P_{пр}$  – is the force that presses the milling tool (MT) to the processing surface;  $P_B$  – pushing force MT

**Выводы.** 1. Показана возможность использования метода аналогий для обоснования необходимости того или иного конструктивного элемента фрезерных рабочих органов, а также определены их функциональное назначение и влияние на процесс работы.

2. Выявленное сходство процессов обработки металлорежущими фрезами и рабочими органами почвофрезы позволило использовать некоторые физические и математические модели процесса фрезерования металлорежущими фрезами для описания процесса работы рабочими органами почвофрезы. Используемые модели хорошо согласуются с

практическими и теоретическими данными по фрезерованию почвы.

3. Показано, что для повышения эффективности процесса фрезерования необходимо повышать его равномерность путем увеличения количества одновременно работающих ножей и использования ножей с косыми режущими кромками.

4. Полученная математическая модель процесса фрезерования позволяет определить необходимое количество ножей, как с прямыми, так и с косыми режущими кромками, а также требуемый угол наклона режущей кромки ножа, при котором процесс фрезерования будет равномерным.

Список литературы

1. Мостовский В. Б. Исследование кинематики рабочих органов почвенных фрез с вертикальной осью вращения // *Механизация работ в садоводстве*. Кишинев, 1979. С. 189–204.
2. Apazhev A., Egozhev A., Misirov M., Polishchuk E., Egozhev A. Mathematical model for calculating the parameters of machines for processing neartrunk strips in a terrace // *E3S Web of Conferences*. 262. 2021. 01019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201019>.
3. Пат. 214799 Российская Федерация, МПК А01В 39/20; А01В 39/26. Фреза для террасного сада / Егожев А. М., Апажев А. К., Мисиров М. Х., Полищук Е. А., Егожев А. А.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ. №2022115620; заявл. 08.06.2022; опубл. 15.11.2022, Бюл. №32.
4. Мисиров М. Х., Канкулова Ф. Х., Егожев А. А. Применение метода аналогий при анализе и выборе формы ножей почвофрезы с вертикальной осью вращения // «Современный взгляд на развитие АПК: Актуальные вопросы, достижения и инновации»: сб. науч. тр. Всероссийской (национальной) научно-практической конференции 28-29 апреля 2023 г. Нальчик: КБГАУ, 2023. С. 242–245.
5. Костюченко Р. Ю. Аналогия в науке и обучении // *Вестник Сибирского института бизнеса и информационных технологий*. 2017. № 4(24). С. 136–142.
6. Шагун В. И. Режущий инструмент: Проектирование. Производство. Эксплуатация: учебное пособие. Москва: НПООО «ПИОН», 2002. 496 с.
7. Аврутин С. В. Фрезерное дело. Москва: Высшая школа, 1964. 542 с.
8. Орнис Н. М. Основы механической обработки металлов. Москва: Машиностроение, 1968. 230 с.
9. Аршинов В. А., Алексеев Г. А. Резание металлов и режущий инструмент. Москва: Машиностроение, 1976. 440 с.
10. Хажметова А. Л., Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Фиापшев А. Г. Оптимизация параметров и режимов работы фрезерного рабочего органа агрегата для обработки междурядий и приствольных полос плодовых насаждений // *АгроЭкоИнфо*. 2019. № 3. С. 37. [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/3/st\\_328.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/3/st_328.doc)
11. Ожерельев В. Н., Ожерельева М. В. Особенности применения вертикальной фрезы для обработки почвы в междурядьях малины // *Агроинженерия*. 2021. № 5(105). С. 20–24. DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-5-4-20-24>.
12. Случевский А. М., Орехова Г. В., Заиров К. Х., Муминов К. А. К вопросу способов крепления активных рабочих органов к роторам фрез с вертикальной осью вращения // *Вестник Брянской ГСХА*. 2022. № 6(94). С. 66–69.
13. Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Егожев А. М., Фиапшев А. Г., Барагунов А. Б. Повышение эксплуатационной надежности сельскохозяйственных машин // *Техника и оборудование для села*. 2023. № 4 (310). С. 12–16. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16.
14. Хажметова А. Л., Апажев А. К., Шекихачев Ю. А., Хажметов Л. М., Фиапшев А. Г. Технологическое и техническое обеспечение повышения эффективности интенсивного горного и предгорного садоводства // *Техника и оборудование для села*. 2019. № 6(264). С. 23–28. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-23-28.
15. Apazhev A.K., Fiaphev A.G., Shekikhachev Y.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*. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. С. 52023. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052023.
16. Apazhev A.K., Fiapshev A.G., Shekikhachev Iu.A., Khazhmetov L.M., Khazhmetova A.L., Ashabokov Kh.Kh. Energy efficiency of improvement of agriculture optimization technology and machine complex optimization // *E3S Web of Conferences*. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019. 2019. С. 05054. DOI: 10.1051/e3sconf/201912405054.
17. Мисиров М. Х., Егожев А. А. Некоторые особенности обработки почв режущим клином // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*. 2022. № 3(37). С. 130–137. doi: 10.55196/2411-3492-2022-3-37-130-137.

References

1. Mostovsky V.B. Study of the kinematics of the working bodies of soil cutters with a vertical axis of rotation. *Mekhanizatsiya rabot v sadovodstve*. Kishinev. 1979. Pp. 189–204. (In Russ.)



2. Apazhev A., Egozhev A., Misirov M., Polishchuk E., Egozhev A. Mathematical model for calculating the parameters of machines for processing neartrunk strips in a terrace. *E3S Web of Conferences*. 262. 2021. 01019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201019>.
3. Pat. 214799 Russian Federation, IPC A01B 39/20; A01B 39/26. Cutter for a terraced garden. Egozhev A.M., Apazhev A.K., Misirov M.Kh., Polishchuk E.A., Egozhev A.A.; applicant and patent holder FSBEI HE Kabardino-Balkarian State Agrarian University. No. 2022115620; dec. 06.08.2022; publ. 11.15.2022, Bull. No. 32. (In Russ.)
4. Misirov M.Kh., Kankulova F.Kh., Egozhev A.A. Application of the analogy method in the analysis and choice of the shape of rotator blades with a vertical axis of rotation. *Sovremennyy vzglyad na razvitiye APK: Aktual'nyye voprosy, dostizheniya i innovatsii: sb. nauch. tr. Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-prakticheskoy konferentsii 28-29 aprelya 2023 g.* [Modern view on the development of the agro-industrial complex: Topical issues, achievements and innovations: Sat. scientific tr. All-Russian (national) scientific and practical conference April 28-29, 2023]. Nalchik, KBGAU, 2023. Pp. 242–245. (In Russ.)
5. Kostyuchenko R.Yu. Analogy in science and education. *Herald of Siberian institute of business and information technologies*. 2017;4(24):136–142. (In Russ.)
6. Shagun V.I. *Rezhushchiy instrument: Proyektirovaniye. Proizvodstvo. Ekspluatatsiya: uchebnoye posobiye* [Cutting tool: Design. Production. Operation: study guide]. Moscow: NPOOO "PION", 2002. 496 p. (In Russ.)
7. Avrutin S.V. *Frezernoye delo*. [Milling business]. Moscow: Vysshaya shkola, 1964. 542 p. (In Russ.)
8. Ornis N.M. *Osnovy mekhanicheskoy obrabotki metallov* [Fundamentals of mechanical processing of metals]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1968. 230 p. (In Russ.)
9. Arshinov V.A., Alekseev G.A. *Rezaniye metallov i rezhushchiy instrument* [Metal cutting and cutting tools]. Moscow: Mashinostroyeniye, 1976. 440 p. (In Russ.)
10. Khazhmetova A.L., Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Fiapshev A.G. Optimization of the parameters and modes of operation of the milling working body of the unit for processing row spacings and tree trunks of fruit plantations. *AgroEcoInfo*. 2019;(3):37. [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/3/st\\_328.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2019/3/st_328.doc). (In Russ.)
11. Ozherelyev V.N., Ozherelyeva M.V. Peculiarities of using the vertical rotary cultivator for inter-row soil tillage of raspberry plantings. *Agricultural engineering*. 2021;5(105):20–24. DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2020-5-4-20-24>. (In Russ.)
12. Sluchevsky A.M., Orekhova G.V., Zairov K.Kh., Muminov K.A. 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(94):66–69. (In Russ.)
13. Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Yegozhev A.M., Fiapshev A.G., Baragunov A.B. Improving the operational reliability of agricultural machines. *Machinery and equipment for rural area*. 2023;4(310):12–16. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16. (In Russ.)
14. Khazhmetova A.L., Apazhev A.K., Shekikhachev Yu.A., Khazhmetov L.M., Fiapshev A.G. Technological and technical support for improving the efficiency of intensive mountain and foothill gardening. *Machinery and equipment for rural area*. 2019;6(264):23–28. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-23-28. (In Russ.)
15. Apazhev A.K., Fiapshev A.G., Shekikhachev Y.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. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. 2019. C. 52023. DOI: 10.1088/1755-1315/315/5/052023.
16. Apazhev A.K., Fiapshev A.G., Shekikhachev Iu.A., Khazhmetov L.M., Khazhmetova A.L., Ashabokov Kh.Kh. Energy efficiency of improvement of agriculture optimization technology and machine complex optimization. *E3S Web of Conferences*. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019. 2019. C. 05054. DOI: 10.1051/e3sconf/201912405054.
17. Misirov M.Kh., Egozhev A.A. Some features of soil treatment with a cutting wedge. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2022;3(37):130–137. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-3-37-130-137. (In Russ.)

---

#### Сведения об авторах

**Мисиров Мухамад Хусайнович** – 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, Author ID: 726412

**Егожев Аскер Артурович** – аспирант 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: 1149193

**Алиев Низам Алейдарович** – аспирант 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

**Mukhamad Kh. Misirov** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 7162-6895, Author ID: 726412

**Asker A. Egozhev** – Postgraduate student of the Department of Technical Mechanics and Physics, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 5389-1457, Author ID: 1149193

**Nizam A. Aliev** – Postgraduate student 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 12.07.2023;  
одобрена после рецензирования 28.07.2023;  
принята к публикации 04.08.2023.*

*The article was submitted 12.07.2023;  
approved after reviewing 28.07.2023;  
accepted for publication 04.08.2023.*