

Научная статья

УДК 631.51

doi: 10.55196/2411-3492-2022-3-37-130-137

## Некоторые особенности обработки почв режущим клином

Мухамад Хусаинович Мисиров<sup>✉1</sup>, Аскер Артурович Егожев<sup>2</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>

**Аннотация.** Существующие в настоящее время модели резания почв не всегда объясняют все имеющиеся результаты экспериментов. При моделировании процесса резания почв за основу принимали модели, разработанные для резания металлов. Но автоматический перенос положений резания металлов на теорию резания почв без достаточных оснований приводит к противоречиям и ошибкам. Резание почв имеет свои особенности, которые не имеют место при резании металлов и которые необходимо учитывать при моделировании процесса их разрушения при резании. При резании хрупких материалов, как и при резании грунтов и почв наблюдается ряд явлений, которых при резании пластичных материалов нет, например, образование опережающих трещин впереди режущего клина. Цель исследования – установление особенностей обработки почв режущим клином, не характерных для обработки металлов, но которые имеют место при механической обработке почвы и которые необходимо учитывать при моделировании процессов механики резания. На основе проведенного сравнительного анализа выявлено существенное отличие геометрии режущей части почвообрабатывающего клина от геометрии клина для обработки пластичных металлических материалов. Получена модель нагружения режущей части почвообрабатывающего клина. Показано, что при работе клина угол действия силы резания положительный. Данный факт необходимо учитывать при моделировании процессов механики резания почвы, чтобы получить корректную модель процесса резания. Нагружение обрабатываемого материала режущим клином по схеме, когда угол действия силы резания положительный, является наиболее оптимальным по энергоемкости процесса резания по сравнению с другими.

**Ключевые слова:** обработка почвы, резание почвы, почвообрабатывающий клин, угол действия, геометрия почвообрабатывающего клина

**Для цитирования.** 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

Original article

## Some features of soil cultivation with a cutting wedge

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

**Abstract.** Currently existing soil cutting models do not explain all available experimental results. When modeling the process of cutting soils, the models developed for cutting metals were taken as a basis. But the automatic transfer of the principles of cutting metals to the theory of cutting soil without sufficient grounds leads to contradictions and errors. Soil cutting has its own characteristics that do not occur when cutting metals and which must be taken into account when modeling the destruction process during cutting. When cutting brittle materials, as well as when cutting soils and soils, a number of phenomena are observed that are not present when cutting plastic materials, for example, the formation of advanced cracks in front of the cutting wedge. The purpose of the study is to establish the features of soil cultivation with a cutting wedge that are not typical for metal processing, but which take place during mechanical tillage and which must be taken into account when modeling the processes of cutting mechanics. On the basis of the comparative analysis, a significant difference between the geometry of the cutting part of the tillage wedge and the geometry of the wedge for processing plastic metal materials was revealed. The loading model of the cutting part of the tillage wedge is obtained. It is shown that during the operation of the tillage wedge the angle of action of the cutting force is positive. When modeling the processes of soil cutting mechanics, in order to obtain a correct model of the cutting process, it is necessary to take into account this fact: the angle of action of the cutting force is positive. Loading of the material being machined with a cutting wedge according to the scheme, when the angle of action of the cutting force is positive, is the most optimal in terms of the energy intensity of the cutting process compared to others.

**Keywords:** tillage, soil cutting, tillage wedge, action angle, tillage wedge geometry

**For citation.** Misirov M.Kh., Egozhev A.A. Some features of soil cultivation with a cutting wedge // *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov.* 2022;3(37):130–137. (In Russ.). doi: 10.55196/2411-3492-2022-3-37-130-137

**Введение.** Существующие в настоящее время модели резания почв [1, 2] не объясняют все имеющиеся результаты экспериментов. Считается, что теория механической обработки почв находится на стадии становления [2]. Изначально теория резания почв опиралась на более изученную теорию обработки металлов. Тем не менее, все теории резания углубляют понимание механизма резания, облегчая поиск новых путей исследования и решений задач механики резания почв.

В настоящее время нет единой теории резания металлических и неметаллических материалов, а также хрупких и пластичных материалов. Более подробно разработана теория резания металлических пластичных материалов, что, по-видимому, объясняется их преобладающим использованием на практике по сравнению с хрупкими материалами. В большинстве случаев стараются перенести, модифицировать теорию резания пластичных материалов для описания механики процесса резания неметаллических материалов, в частности грунтов и почв. Но автоматический перенос положений резания металлов на теорию резания почв без достаточных

оснований приводит к противоречиям и ошибкам. Резание почв имеет свои особенности, которые не имеют место при резании металлов. При резании хрупких материалов, как и при резании грунтов и почв, наблюдается ряд явлений, которых при резании пластичных материалов нет. К таким можно отнести, например, образование опережающих трещин впереди режущего клина [1, 3]. Этот факт никоим образом нельзя описать аппаратом теории упругости и пластичности, которые очень широко используются при моделировании процесса резания различных материалов, таких как металлы, неметаллические хрупкие материалы (керамика, слоистый пластик, древесина, грунт, почва и др.).

**Цель исследования** – установление особенностей обработки почв режущим клином не характерных для обработки металлов, но которые имеют место при механической обработке почвы и которые необходимо учитывать при моделировании процессов механики резания.

**Материалы, методы и объекты исследования.** База исследования – физические и математические модели процесса резания различных металлических и неметаллических

материалов, а также экспериментальные данные. При проведении исследований использованы методы механики разрушения. Объект исследования – процессы, происходящие при свободном прямоугольном резании хрупких неметаллических материалов (почвы и т. п.) двугранным клином с образованием трещин и последующим разрушением.

**Результаты исследования.** Процесс резания хрупких материалов можно моделировать как процесс направленного трещинообразования, приводящего к разрушению локального объема материала [4].

Изучением процесса развития трещины и последующего разрушения занимается относительно молодое и динамично развивающееся направление современной механики деформируемого твердого тела – механика разрушения [5, 6]. Поэтому исследование процесса резания с позиции механики разрушения позволит посмотреть на механику резания с другой стороны, не отвергая ранее полученные результаты.

Как показывают многочисленные экспериментальные и теоретические исследования, на характер деформирования и разрушения при обработке режущим клином в основном существенно влияют следующие факторы:

- 1) угол резания (передний угол) клина;
- 2) угол действия равнодействующей силы резания клина;
- 3) сопротивление обрабатываемого материала деформации и разрушению.

Рассмотрим, как влияют данные факторы на процесс деформирования и разрушения в зоне резания.

### 1. Угол резания (передний угол) клина.

Основным элементом любого режущего инструмента является клин. Сравним геометрические параметры режущих клинов почвообрабатывающих и металлорежущих инструментов.

В отличие от почвообрабатывающего клина, геометрия металлорежущего инструмента стандартизована. Так, по ГОСТ 25762-83, основными углами клина являются передний угол  $\gamma$ , задний угол  $\alpha$  и угол заострения  $\beta$  (рис. 1). Для почвообрабатывающего клина такого деления углов нет, характерным углом является угол резания (угол крошения)  $\delta$ , равный  $\delta = \beta + \alpha$ .

Из представленной на рисунке 1 схемы следует, что сумма углов  $\gamma$ ,  $\beta$  и  $\alpha$  составляет 90 градусов:

$$\gamma + \beta + \alpha = 90^\circ \quad (1)$$

$$\gamma + \delta = 90^\circ \quad (2)$$

При резании почвы используются инструменты с углом резания  $\delta = 15-40$  градусов [2]. Передний угол этих инструментов, соответственно, равен  $\gamma = 90^\circ - \delta = 75-50$  градусов. Таких передних углов при резании металлов нет. При обработке металлов используются инструменты с передним углом, равным  $\gamma = 8-25$  градусов [7]. При резании металлов иногда используют инструменты с отрицательными передними углами, чего нет при обработке почвы.

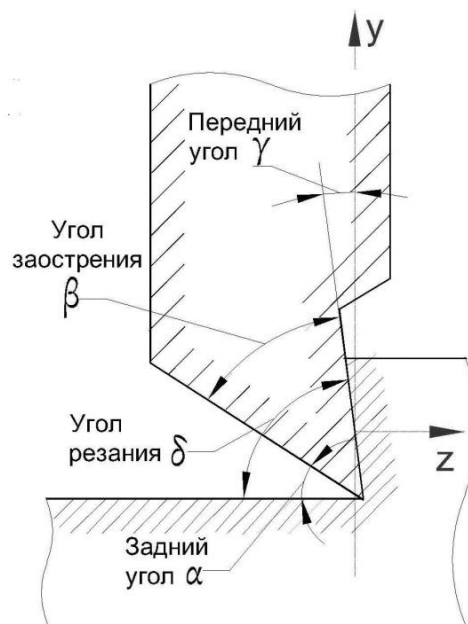


Рисунок 1. Углы режущего клина  
Figure 1. Angles of the cutting wedge

Сравнение геометрических параметров режущей части почвообрабатывающего клина и металлорежущего клина показывает их существенное отличие. Это означает, что условия деформирования и характер разрушения при стружкообразовании при этих углах будут сильно различаться.

**2. Угол действия равнодействующей силы резания клина.** Геометрические параметры клина (1), (2) и трение в зоне обработки определяют величину угла действия  $\omega$ :

$$\omega = 90 - \delta - \Psi \quad (3)$$

где:

$\delta$  – угол резания;

$\Psi$  – угол трения.

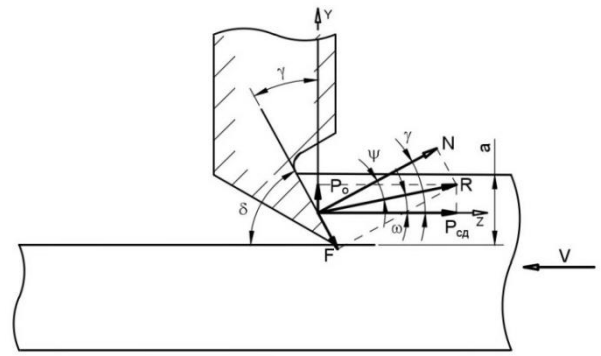
Угол действия является одним из основных параметров, определяющих характер резания и разрушения при обработке. Угол действия  $\omega$  – это угол между равнодействующей силой резания  $R$  и вектором скорости резания  $V$  (рис. 2). Данная сила непосредственно деформирует срезаемый слой материала и приложена к передней поверхности режущего клина [4].

На практике, в зависимости от условий механической обработки и обрабатываемых материалов, угол действия может изменяться в широких пределах  $0 \leq \omega \leq 0$ . Рассмотрим три варианта нагружения клина:  $\omega > 0$ ,  $\omega < 0$ ,  $\omega = 0$ . Соответствующие схемы, показывающие направление силы резания  $R$  и ее составляющих: отрывающую силу  $P_o$ , сдвигающую силу  $P_{cd}$ , сжимающую силу  $P_{сж}$ , показаны на рисунке 2.

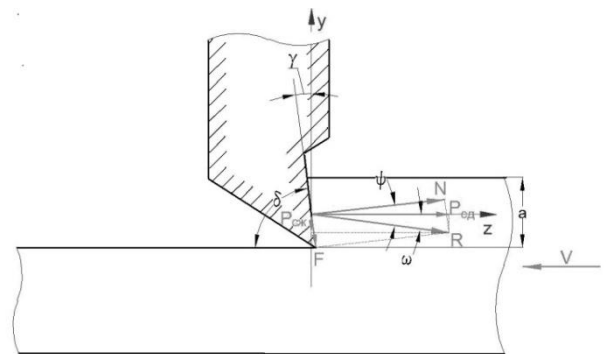
Согласно справочным данным [2], на практике наиболее используемыми углами резания почвообрабатывающего клина являются углы  $\delta = 15 \dots 40^\circ$ . При этом угол трения  $\Psi$  изменяется от  $\Psi = 22^\circ$  до  $\Psi = 31^\circ$  [2]. При этих значениях  $\delta$  и  $\Psi$  угол действия  $\omega$ , определяемый по формуле (3), равен  $\omega = 37 \dots 71^\circ$ . Это свидетельствует, что при работе почвообрабатывающего клина угол действия силы резания положительный,  $\omega > 0$ . При моделировании процессов механики резания почвы необходимо учитывать данный факт, чтобы получить корректную модель процесса резания.

Схема, представленная на рисунке 2а, является моделью нагружения режущего клина при резании почвы.

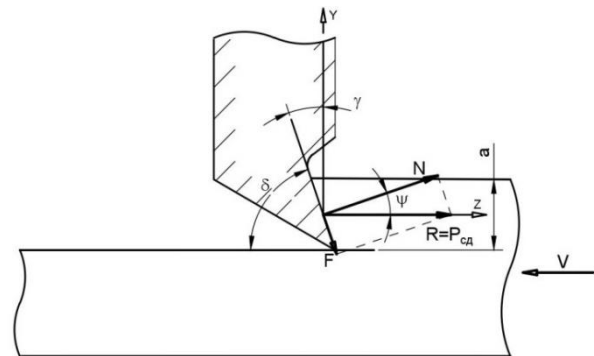
Сравнение углов действия при резании металлов и почвы показывает их существенное отличие. Так, при свободном резании стали 20Х резцом с передним углом  $\gamma = 5 \dots 45^\circ$  угол действия равен  $\omega = -8 \dots 20^\circ$  [8]. Можно отметить, что схема, представленная на рисунке 2б, является моделью нагружения режущего клина при резании металлов.



а) здесь  $\omega > 0$  при  $\gamma > 0, \gamma > \Psi$



б) здесь  $\omega < 0$  при  $\gamma > 0, \gamma < \Psi$



в) здесь  $\omega = 0$  при  $\gamma > 0, \gamma = \Psi$

**Рисунок 2.** Угол действия  $\omega$  и направление равнодействующей силы  $R$  в зависимости от величины переднего угла  $\gamma$  и угла трения  $\Psi$

**Figure 2.** Angle of action  $\omega$  and direction of the resultant force  $R$  depending on the magnitude of the front angle  $\gamma$  and the angle of friction  $\Psi$

Анализ схем на рисунке 2 и приведенные экспериментальные данные показывают, что резание металлических материалов происходит преимущественно путем сдвига, в отличие от резания почвы. Из этого следует, что к вопросу использования моделей, разработанных для резания металлов при моделировании процессов резания почв надо подходить очень тщательно.

Для схемы, представленной на рисунке 2с, угол действия  $\omega = 0$  при условии равенства переднего угла режущего клина и угла трения  $\gamma = \Psi$ , что следует из формул (2) и (3). В этом случае на обрабатываемый материал действует только сдвигающая сила  $P_{сд}$ , создающая деформацию чистого сдвига. Это положение является основой способа определения критического коэффициента интенсивности напряжений [9].

**3. Сопротивление обрабатываемого материала деформации и разрушению.** Направление равнодействующей силы резания  $R$  определяет характер разрушения при воздействии почвообрабатывающим клином. Например, при резании с передним углом больше угла трения  $\gamma > \Psi$ ,  $\omega > 0$  (схема  $a$

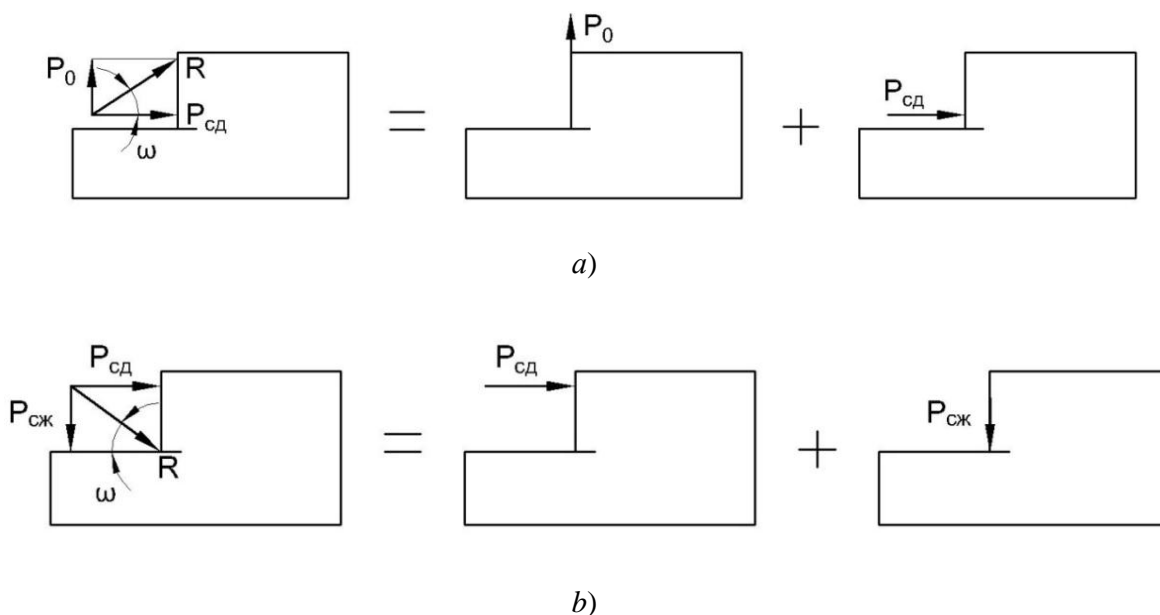
на рис. 2) образуются трещины (рис. 3), которые в терминах механики разрушения можно назвать трещинами общего вида.



**Рисунок 3.** Трещинообразование при резании сильно увлажненного суглинка клином с углом резания  $\delta = 30^\circ$  [3]

**Figure 3.** Crack formation when cutting a highly moistened loam with a wedge with a cutting angle  $\delta = 30^\circ$  [3]

Для принятой физической модели разрушения при резании с положительным углом действия [10] напряженно-деформированное состояние (НДС) в окрестности вершины трещины можно представить как сумму НДС отрыва силой  $P_o$  и НДС поперечного сдвига силой  $P_{сд}$ , что графически представлено на рисунке 4а.



**Рисунок 4.** Схемы приложения равнодействующей силы резания и виды деформации обрабатываемого материала при положительном  $\omega > 0$  (а) и отрицательном  $\omega < 0$  (б) угле действия  $\omega$

**Figure 4.** Schemes of application of the resultant cutting forces and types of deformation of the material being processed at positive  $\omega > 0$  (a) and negative  $\omega < 0$  (b) angle of action  $\omega$

Вертикальная составляющая силы резания направлена вверх и отрывает стружку (рис. 4а). При работе почвообрабатывающего клина увеличение угла действия приводит к росту отрывной силы, которая превалирует над сдвиговой [4]. Экспериментальные данные, приведенные в работе [2], подтверждают это утверждение.

На рисунке 4б представлена схема для определения НДС при резании с отрицательным углом действия,  $\omega < 0$  при  $\gamma < \Psi$  (схема б на рис. 2).

Для оценки энергоёмкости деформации отрыва и сдвига сравним силы сопротивления резанию (разрушающую силу) для двух граничных значений угла действия  $\omega = 90^\circ$  и  $\omega = 0$ . Из рис. 2, 4 следует, что при  $\omega = 90^\circ$  действует только отрывная сила  $P_o$ , и разрушение происходит под действием нормальных напряжений – отрывом. При  $\omega = 0$  действует только сдвигающая сила  $P_{cd}$ , и разрушение происходит под действием касательных напряжений – сдвигом. Оценка показывает, что для разрушения отрывом требуется силы в 7,3 раза меньше, чем для разрушения чистым сдвигом [10].

Таким образом, можно сделать вывод, что нагружение обрабатываемого материала режущим клином по схеме, представленной на рисунке 1а, является наиболее оптимальным по энергоёмкости процесса резания по сравнению с другими.

**Выводы.** 1. На основе проведённого сравнительного анализа выявлено существенное отличие геометрии режущей части почвообрабатывающего клина от геометрии клина для обработки пластичных металлических материалов.

2. Получена физическая модель нагружения режущей части почвообрабатывающего клина. Показано, что при его работе угол действия силы резания положительный.

3. Использование традиционных моделей резания пластичных металлических материалов без учета специфики почв для моделирования резания почв не позволяет адекватно описывать процесс разрушения при резании.

4. Резание почв имеет свои особенности, в отличие от резания металлов, которые необходимо учитывать при моделировании процесса разрушения при резании.

5. При моделировании процессов механики резания почвы, чтобы получить корректную модель процесса резания, необходимо учитывать данный факт: угол действия силы резания положительный.

6. Нагружение обрабатываемого материала режущим клином по схеме, когда угол действия силы резания положительный, является наиболее оптимальным по энергоёмкости процесса резания по сравнению с другими.

### Список литературы

1. Горячкин В. П. Общая теория орудий // Собр. сочинений в 3 т. Т. 1. Москва: Колос, 1965. 720 с.
2. Панов И. М., Ветохин В. И. Физические основы механики почв. Киев: Феникс, 2008. 266 с.
3. Синеоков Г. Н. Проектирование почвообрабатывающих машин. Москва: Машиностроение, 1965. 311 с.
4. Мисиров М. Х., Канкулова Ф. Х. Определение условий для разрушения отрывом и сдвигом при резании почв и грунтов клином // АгроЭкоИнфо. 2018. № 1. [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/1/st\\_145.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/1/st_145.doc)
5. Черепанов Г. П. Механика хрупкого разрушения. Москва: Наука, 1974. 640 с.
6. Саврук М. П. Коэффициенты интенсивности напряжений в телах с трещинами. Механика разрушения и прочность материалов. В 4-х т. п/р Панасюка В. В. Т. 2. Киев: Наукова думка, 1988. 620 с.
7. Бобров В. Ф. Основы теории резания металлов. Москва: Машиностроение, 1975. 344 с.
8. Шадский Г. В., Сальников В. С., Ерзин О. А. Динамика процесса резания при вариации переднего угла режущего инструмента // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. Вып. 11. Ч. 2. С. 574–584.
9. Патент 2650613, МПК 7 G01N 3/24 (2006.01) Российская Федерация. Способ определения критического коэффициента интенсивности напряжений при поперечном сдвиге твердого тела / А. К. Апажев, М. Х. Мисиров, А. Х. Габаев, А. М. Мисирова. №2017109045; заявл. 17.03.2017; опубл. 16.04.2018

10. Мисиров М. Х. Определение напряженно-деформированного состояния и разрушающей силы при резании хрупких материалов // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2019. № 4(26). С. 63–68.

### References

1. Goryachkin V.P. *Obshchaya teoriya orudij* [General theory of guns]. Sobranie sochineniy v 3 volumes. V. 1. Moscow: Kolos, 1965. 720 p.
2. Panov I.M., Vetohin V.I. *Fizicheskie osnovy mekhaniki pochv* [Physical foundations of soil mechanics]. Kyiv: Feniks, 2008. 266 p.
3. Sineokov G.N. *Proektirovanie pochvoobrabatyvayushchih mashin* [Designing tillage machines]. Moscow: Mashinostroenie, 1965. 311 p.
4. Misirov M.Kh., Kankulova F.Kh. Determination of conditions for destruction by separation and shear when cutting soils and soils with a wedge. *AgroEcoInfo*. 2018;(1). [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/1/st\\_145.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2018/1/st_145.doc)
5. Cherepanov G.P. *Mekhanika hrupkogo razrusheniya* [Brittle Fracture Mechanics]. Moscow: Nauka, 1974. 640 p.
6. Savruk M.P. *Koeffitsienty intensivnosti napryazhenij v telah s treshchinami. Mekhanika razrusheniya i prochnost' materialov* [Stress intensity factors in bodies with cracks. Fracture mechanics and strength of materials]. V. 2. Kyiv: Naukova Dumka. 1988. 620 p.
7. Bobrov V.F. *Osnovy teorii rezaniya metallov* [Fundamentals of the theory of metal cutting]. Moscow: Mashinostroenie, 1975. 344 p.
8. Shadskij G.V., Sal'nikov V.S., Erzin O.A. *Dinamika processa rezaniya pri variacii perednego ugla rezhushchego instrumenta* [Dynamics of process of cutting at the variation of the forward corner of the cutting tool]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki*. 2016: (11):574–584.
9. Patent 2650613, IPC 7 G01N 3/24 (2006.01) Russian Federation. A method for determining the critical stress intensity factor for transverse shear of a solid body /A.K. Apazhev, M.Kh. Misirov, A.Kh. Gabaev, A.M. Misirov. No. 2017109045; dec. 03/17/2017; publ. 04/16/2018
10. Misirov M. Kh. Determination of stressed-deformed state and destructive forces during cutting fragile materials. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*. 2019;4 (26):63–68.

### Сведения об авторах

**Мисиров Мухамад Хусаинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая механика и физика», 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, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова», SPIN-код: 5389-1457, Author ID: 1149193

### 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, Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, SPIN-code: 5389-1457, Author ID: 1149193

---

**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 15.08.2022;  
одобрена после рецензирования 05.09.2022;  
принята к публикации 07.09.2022.*

*The article was submitted 15.08.2022;  
approved after reviewing 05.09.2022;  
accepted for publication 07.09.2022.*