

Научная статья/Research Article

УДК 621.926.327

DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-198-205

**Дмитрий Александрович Кривов**

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

krivovdm@yandex.ru

## МЕХАНИЗМЫ РАЗРУШЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ В ВАЛКОВОЙ ДРОБИЛКЕ С НАБОРНЫМИ ПЛАСТИНАМИ В ФОРМЕ РК-ПРОФИЛЯ

*Цель исследования – обоснование применения новой кинематической схемы измельчения растительного сырья (злаковые и плодовые растения) для реализации конструкции валковой дробилки с наборными пластинами в форме РК-профиля. Для выполнения цели исследования поставлен ряд задач по изучению главного объекта – кинематической схемы измельчения. В статье подробно рассмотрена указанная схема измельчения в качестве статической и кинематической схемы взаимодействия элементов измельчителя и измельчаемого сырья; отмечена возможность совмещения в данной схеме ряда различных механизмов разрушения, а именно: сжатия, растяжения, истирания, ударного воздействия; отмечен эффект постоянного изменения направления и величины действующих на измельчаемый материал сил; исследованы геометрические и силовые характеристики новой конструкции валковой дробилки. В результате анализа новой кинематической схемы измельчения можно сделать следующий вывод: в системе возникают знакопеременные нагрузки, действующие на измельчаемое сырье в результате возникновения различных разрушающих сил, которые позволяют добиться дополнительного повышения интенсивности измельчения материала (сырья) и, как следствие, повышения эффективности процесса измельчения в целом. Также приводится обоснование кинематических и силовых воздействий, оказывающих влияние на измельчаемое сырье в зоне дробления с учетом упруго-пластичных свойств различных видов сельскохозяйственной продукции. Приведен результат анализа напряженно-деформированного состояния валков в зоне измельчения с учетом максимально неблагоприятных условий воздействия веществ с различными механическими свойствами на рабочие органы дробилки. Обоснована необходимость реализации новой схемы измельчения и предложены варианты конструктивного исполнения в виде дробилки с наборными пластинами в форме РК-профиля.*

**Ключевые слова:** дробилка, измельчитель, валки, РК-профиль, интенсивность дробления, кинематическая схема, разрушение, деформация, растительное сырье, сельское хозяйство

**Для цитирования:** Кривов Д.А. Механизмы разрушения растительного сырья в валковой дробилке с наборными пластинами в форме РК-профиля // Вестник КрасГАУ. 2024. № 6. С. 198–205. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-198-205.

**Dmitry Alexandrovich Krivov**

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

krivovdm@yandex.ru

## VEGETABLE RAW MATERIALS DESTRUCTION MECHANISMS IN A ROLLER CRUSHER WITH SET PLATES IN THE FORM OF A RT-PROFILE

*The purpose of the study is to substantiate the application of a new kinematic scheme for crushing plant materials (cereals and fruit plants) to implement the design of a roller crusher with composite plates in the form of an RT-profile. To achieve the objective of research, a number of tasks were set to study the main object – the kinematic scheme of crushing. The paper examines in detail the specified crushing*

© Кривов Д.А., 2024

Вестник КрасГАУ. 2024. № 6. С. 198–205.

Bulliten KrasSAU. 2024;(6):198–205.

*scheme as a static and kinematic scheme of interaction between the elements of the crusher and the crushed raw material; the possibility of combining a number of different destruction mechanisms in this scheme is noted, namely: compression, tension, abrasion, impact action; the effect of constant change in the direction and magnitude of the forces acting on the crushed material is noted; geometric and power characteristics of the new design of the roller crusher are investigated. The analysis of the new kinematic scheme of grinding allows us to draw the following conclusion: alternating loads appear in the system, acting on the raw material being ground as a result of various destructive forces, which allow us to achieve an additional increase in the intensity of material (raw material) grinding and, as a consequence, an increase in the efficiency of the grinding process as a whole. The substantiation of the kinematic and force effects affecting the raw material being ground in the crushing zone is also given, taking into account the elastic-plastic properties of various types of agricultural products. The result of the analysis of the stress-strain state of the rolls in the grinding zone is given, taking into account the most unfavorable conditions of the impact of substances with different mechanical properties on the working parts of the crusher. The necessity of implementing a new grinding scheme is substantiated and design options are proposed in the form of a crusher with set plates in the form of an RT-profile.*

**Keywords:** *crusher, shredder, rolls, RT-profile, crushing intensity, kinematic scheme, destruction, deformation, vegetable raw materials, agriculture*

**For citation:** *Krivov D.A. Vegetable raw materials destruction mechanisms in a roller crusher with set plates in the form of a RT-profile // Bulliten KrasSAU. 2024;(6): 198–205 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-6-198-205.*

**Введение.** В сельскохозяйственном и пищевом производствах одним из важнейших этапов переработки растительного сырья является измельчение. На зерноперерабатывающих и комбикормовых заводах измельчающие машины являются одним из наиболее энергоемких видов технологического оборудования. Дисперсность, гранулометрический состав и физико-механические свойства измельченного растительного сырья определяют конечные технико-экономические показатели продукции и применимость ее в пищевой, промышленной или лекарственной отраслях. Для продукции, употребляемой человеком в пищу, особенно важна чистота помола (измельчения) растительного сырья с точки зрения содержания в нем продуктов износа рабочих органов измельчителей. Для реализации различных видов механизмов разрушения материалов разработано множество схем измельчения. Изготовленное по таким схемам оборудование чаще всего реализует от одного до двух (реже трех) механизмов разрушения. В сельском хозяйстве для переработки различных видов растительного сырья используются измельчители с определенными техническими характеристиками: механизм разрушения материалов, интенсивность измельчения, технологичность, надежность и др. Очень часто, при высоких показателях оборудования по одним характеристикам, другие параметры остаются на достаточно невысоком уровне. Особенно это относится к интенсивности измельчения, кото-

рая ограничивается механизмами разрушающего воздействия и их сочетанием конкретного измельчителя [1–5]. Учитывая достоинства и недостатки существующих измельчителей и схем измельчения, была предложена новая кинематическая схема процесса измельчения, в основу которой заложено применение валков в форме РК-профиля [6–8]. Для подтверждения целесообразности применения такой схемы для измельчения растительного сырья и изготовления на ее основе оборудования проанализированы основные механизмы разрушения растительного сырья и исследованы геометрические и силовые характеристики новой конструкции валковой дробилки.

**Цель исследования** – обоснование применения новой кинематической схемы измельчения растительного сырья для реализации конструкции валковой дробилки с наборными пластинами в форме РК-профиля.

**Задачи:** исследование механизмов разрушения растительного сырья в зоне дробления и воздействия знакопеременных нагрузок на измельчаемый материал и механизмы дробилки.

**Результаты и их обсуждение.** В разрабатываемой дробилке измельчаемое растительное сырье перемещается в горизонтальном и вертикальном направлении, таким образом материал перекачивается между криволинейными поверхностями валков, реализованных изменяющимся радиусом минимального  $r$  до максимального  $R$  (рис. 1) [6].

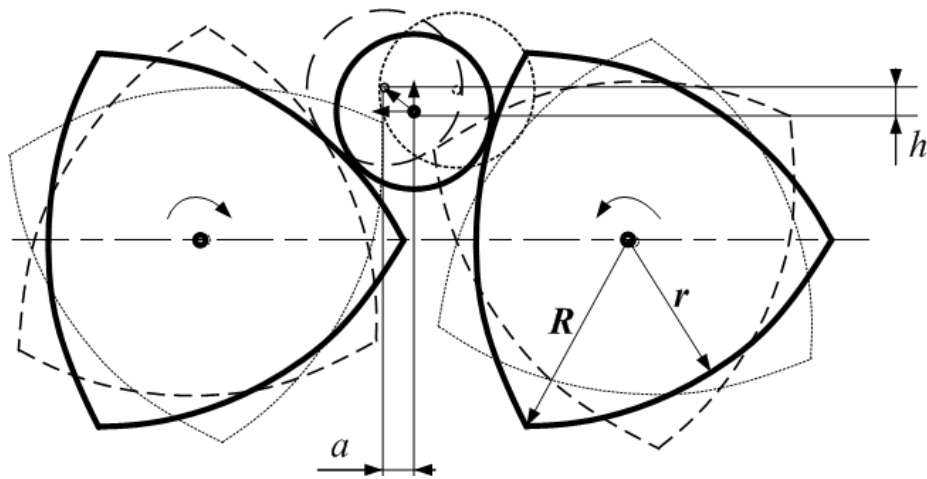


Рис. 1. Схема относительного расположения валков и измельчаемого сырья

На материал в этом случае действуют разнонаправленные силы в зоне контакта валков с измельчаемым растительным сырьем. Благодаря таким сложным движениям значительно снижается вероятность заклинивания сырья в щелевом зазоре за счет попадания крупных кусков или примесей твердых частиц в сыпучем

сырье (камни и другие включения в объеме зерновых).

При вращении валков изменяется размер щелевого зазора. В момент увеличения зазора происходит захват растительного сырья и дальнейшее его истирание и раздавливание (рис. 2).

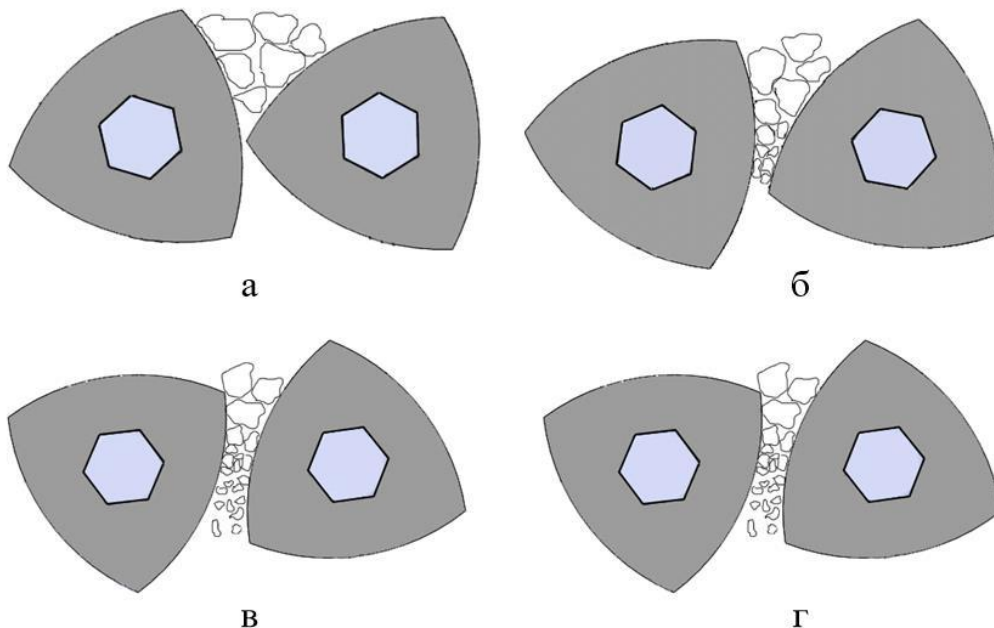


Рис. 2. Изменение щелевого зазора между валками

При минимальном щелевом зазоре, сформированном минимальным радиусом  $r$  одного вала и максимальным  $R$  другого вала, в зоне измельчения действует максимальный угол захвата  $\alpha$  (рис. 2, а). При вращении валков щелевой зазор постепенно увеличивается и на расти-

тельное сырье действуют силы истирания (за счет разной окружной скорости валков) и сжатия (рис. 2, б). Угол захвата в этом положении позволяет затягивать растительное сырье в щелевой зазор, при этом некоторый объем деформированного сырья поднимается вверх и смеши-

вается с еще необработанным растительным сырьем, реализуется процесс перемешивания и вторичного воздействия на растительное сырье механизмов разрушения. При дальнейшем вращении и увеличении щелевого зазора материал раздавливается и истирается (рис. 2, в). Измельченный материал свободно падает под действием силы тяжести через разгрузочный щелевой зазор. В этом положении механизм дробления схож со щековой дробилкой [8, 9]. В положении валков (рис. 2, г) щелевой зазор близок к минимальному, большой радиус R раздавливает большой объем растительного сырья и отсекает его части.

Описанная схема воздействия на растительное сырье с изменяющимся щелевым зазором значительно повышает возможность дробления материала в сравнении с классическими валко-

выми дробилками, где размер частиц измельчаемого растительного сырья ограничен диаметром валков.

Для измельчения мелкодисперсных и гранулометрически равномерных по составу видов растительного сырья, а также для дробления пластичных материалов возможна реализация схемы дробления с постоянным щелевым зазором. Для этого на подпружиненный вал устанавливается профиль, который при вращении смещает вал в сторону уменьшения щелевого зазора, при этом работоспособность подпружиненного механизма сохраняется.

Для наглядного подтверждения характера изменения щелевого зазора и динамики работы пары валков была создана анимационная модель (рис. 3).

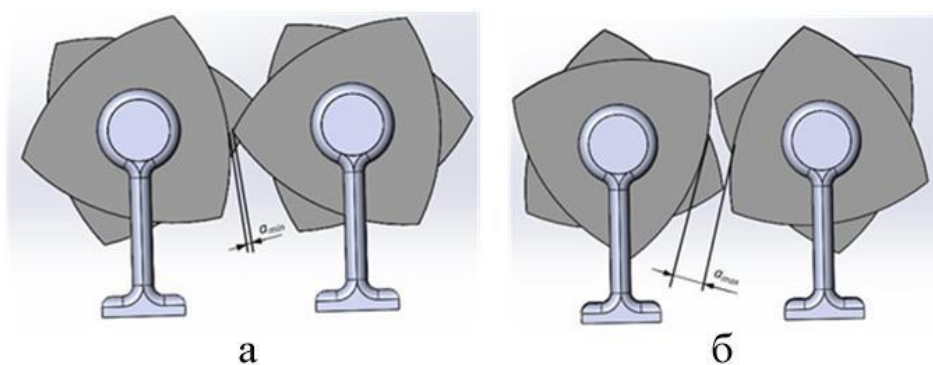


Рис. 3. Изменение щелевого зазора на анимационной модели

На отдельных кадрах анимации видно не только изменение размера щелевого зазора от минимального значения  $a_{\min}$  до максимального

$a_{\max}$  при разных положениях валков, но и изменение положения щелевого зазора (рис. 4).

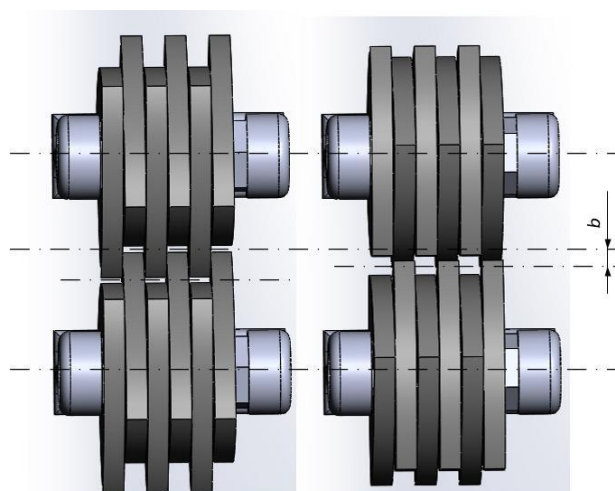


Рис. 4. Изменение положения щелевого зазора на анимационной модели

Благодаря изменению положения щелевого зазора и различных угловых скоростей реализуется механизм перекачивания материала, а в случае попадания большого объема растительного сырья при недостаточном угле захвата – выведение излишнего объема из зоны дробления.

В зоне измельчения между валками в форме РК-профилей реализуется циклическая знакопеременная нагрузка. При вращении РК-профиля происходит смена векторов и численных значений сил относительно оси вращения валков (рис. 5) [6].

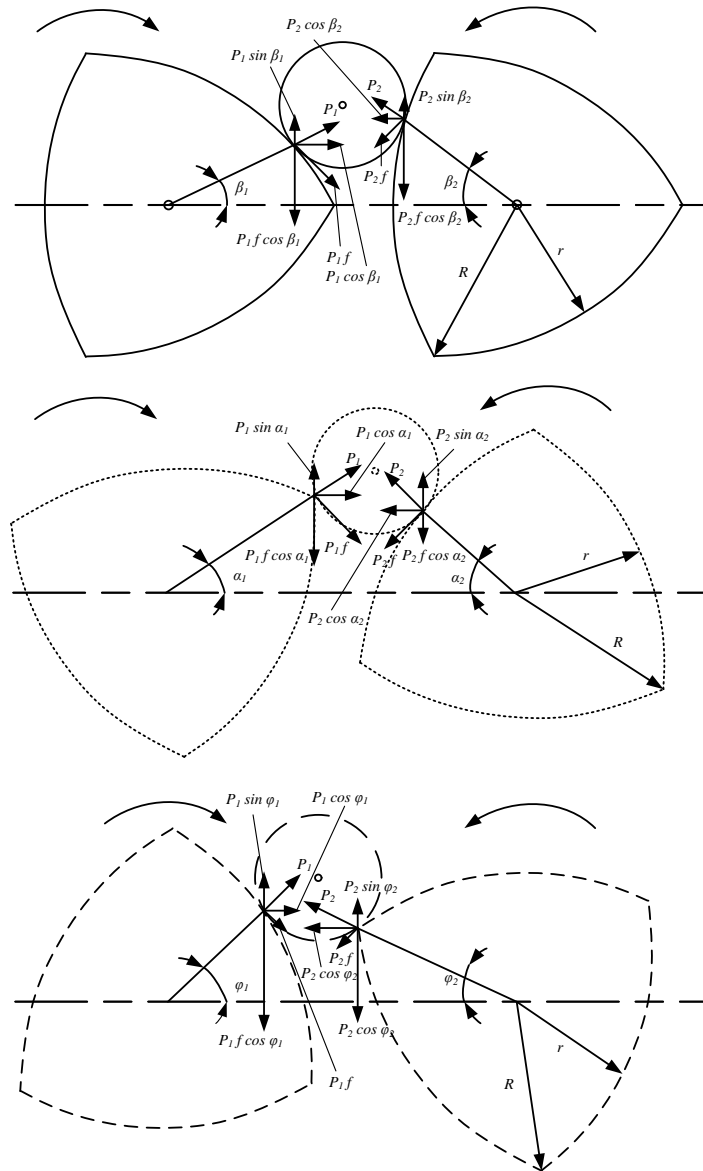


Рис. 5. Схема сил в щелевом зазоре при разных положениях пластин

Сочетание различных кинематических и силовых воздействий дает дополнительное перемешивание измельчаемого растительного сырья, а различные механизмы разрушения действуют совместно с постоянным изменением направления сил и их численных значений.

Конструкция валков, выполненных в виде наборных пластин в форме РК-профиля, позво-

ляет реализовать механизм гильотины (с вращением ножей) с нелинейным распределением нагрузки (рис. 6) [7].

При вращении валков грани соседних пластин пересекаются. Точка приложения сил будет смещаться по касательной к кривой, образованной встречными гранями РК-профиля (рис. 7).

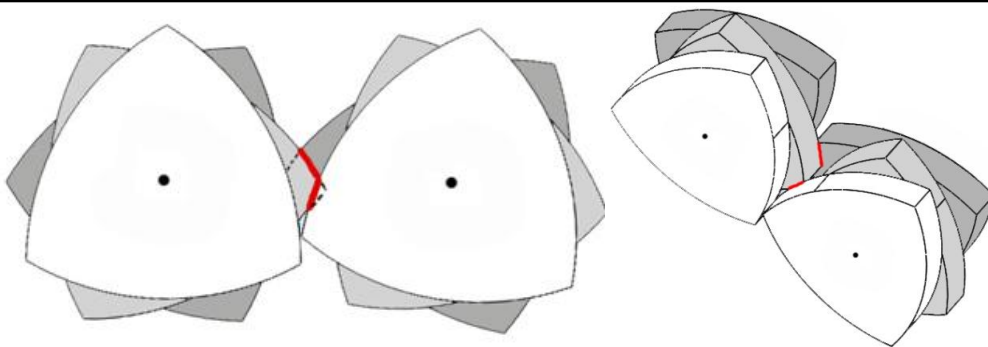


Рис. 6. Зоны резания в пластинах

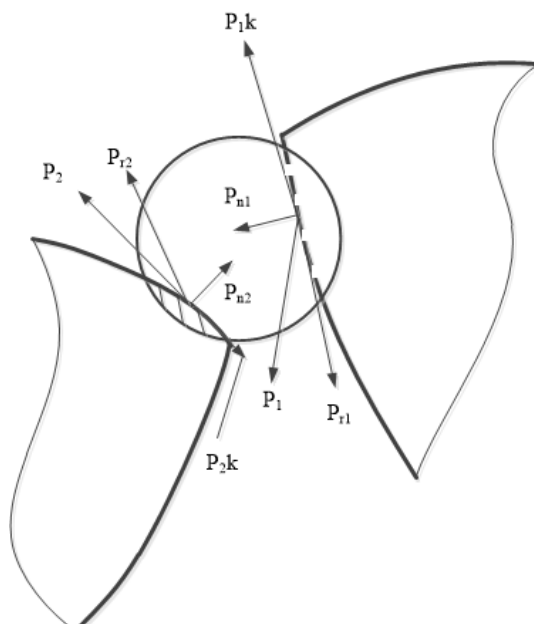


Рис. 7. Направление сил резания в пластинах

Реализация подобного механизма позволяет разрушать хрупкие материалы раскалыванием. Наиболее важным эффектом резания является для измельчения пластичных растительных материалов, обработка которых представляет определенные сложности [8, 10, 11].

### Заключение

1. Предложенная схема измельчения растительного сырья сочетает различные механизмы разрушения: сжатие, истирание, раздавливание, резание при знакопеременных нагрузках. Реализуется возможность измельчения растительного сырья разного гранулометрического состава и дисперсности за счет изменения размера и положения щелевого зазора и угла захвата. Для тонкого измельчения и измельчения пластичных

материалов предусмотрена возможность сохранения размера щелевого зазора путем циклического смещения подпружиненного вала, а благодаря эффекту гильотины возможно измельчение пластичных и волокнистых видов растительного сырья.

2. Все совокупные характеристики схемы измельчения, реализованные наборными пластинами в форме РК-профиля, позволяют повысить интенсивность измельчения. Предлагаемая сборная конструкция, построенная по данной схеме, является более эффективной по показателям технологичности, ремонтпригодности и эффективности измельчения. Валки дробилки обладают высокой степенью надежности благодаря системе распределения усилий на криволинейной поверхности наборных пластин в форме РК-профиля.

## Список источников

1. Машины и агрегаты металлургических заводов / под ред. А.И. Целикова. М.: Металлургия, 1987. Т. 1. С. 82.
2. Искандеров Р.Р., Лебедев А.Т. Молотковые дробилки: достоинства и недостатки // Вестник АПК Ставрополя. 2012. № 1 (17). С. 27–30.
3. Пат. на полезную модель № 160138 U1 Российская Федерация, МПК В02С 4/28. Дробилка валковая лабораторная / Д.М. Кривелев, А.Г. Кочуров; заявитель ООО «ВИБРОТЕХНИК». № 2015140945/13; заявл. 24.09.2015; опубл. 10.03.2016.
4. Пат. № 2528702 С1 Российская Федерация, МПК В02С 4/12. способ дробления в валковой дробилке / Никитин А.Г., Люленков В.И., Лактионов С.А. [и др.]; заявитель Сибир. гос. индустриальный ун-т. № 2013110529/13; заявл. 11.03.2013; опубл. 20.09.2014.
5. Пат. на полезную модель № 166453 U1 Российская Федерация, МПК В29В 17/00. Валковый измельчитель / Соловьев М.Е., Андропов В.А., Соловьев Е.М.; заявитель ООО «НПО ВТОРМ». № 2016126301/05; заявл. 29.06.2016; опубл. 27.11.2016.
6. Кривов Д.А., Гордеев Ю.И. Разработка принципиальной схемы дробилки с валками в форме РК-профиля // Вестник КрасГАУ. 2017. № 7 (130). С. 78–83.
7. Моделирование напряженного состояния в зоне измельчения между сборными валками в форме РК-профиля / Д.А. Кривов [и др.] // Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1353 (1), 012076.
8. Кривов Д.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния пластин в форме РК-профиля при измельчении пластичных материалов // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2021, 1181, 012020.
9. Гурьянов Г.А., Абдеев Б.М. Прикладная модель измельчения шарообразной твердой частицы прямым ударом о недеформируемую плоскую поверхность // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. 2020. № 1. С. 32–42.
10. Меновщиков В.А., Полюшкин Н.Г., Ярлыков В.М. Механизм контактного разрушения сталей при статическом нагружении // Вестник КрасГАУ. 2006. № 10. С. 198–203.
11. Полюшкин Н.Г. Оценка микротвердости стальных образцов в условиях реверсивного движения // Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития: мат-лы междунар. науч.-практ. конф. Красноярск: Красноярский ГАУ, 2020. С. 117–120.

## References

1. Mashiny i agregaty metallurgicheskikh zavodov / pod red. A.I. Celikova. M.: Metallurgiya, 1987. T. 1. S. 82.
2. Iskanderov R.R., Lebedev A.T. Molotkovye drobilki: dostoinstva i nedostatki // Vestnik APK Stavropol'ya. 2012. № 1 (17). S. 27–30.
3. Pat. na poleznuyu model' № 160138 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK B02C 4/28. Drobilka valkovaya laboratornaya / D.M. Krivelev, A.G. Kochurov; zayavitel' ООО «VIBRO-TEHNIK». № 2015140945/13; zayavl. 24.09.2015; opubl. 10.03.2016.
4. Pat. № 2528702 C1 Rossijskaya Federaciya, MPK B02C 4/12. sposob drobleniya v valkovoj drobilke / Nikitin A.G., Lyulenkov V.I., Laktionov S.A. [i dr.]; zayavitel' Sibir. gos. industrial'nyj un-t. № 2013110529/13; zayavl. 11.03.2013; opubl. 20.09.2014.
5. Pat. na poleznuyu model' № 166453 U1 Rossijskaya Federaciya, MPK B29B 17/00. Valkovyy izmel'chitel' / Solov'ev M.E., Andropov V.A., Solov'ev E.M.; zayavitel' ООО «NPO VTORM». № 2016126301/05; zayavl. 29.06.2016; opubl. 27.11.2016.
6. Krivov D.A., Gordeev Yu.I. Razrabotka princip'al'noj shemy drobilki s valkami v forme RK-profil'ya // Vestnik KrasGAU. 2017. № 7 (130). S. 78–83.
7. Modelirovanie napryazhennogo sostoyaniya v zone izmel'cheniya mezhdru sbornymi valkami v forme RK-profil'ya / D.A. Krivov [i dr.] // Journal of Physics: Conference Series, 2019, 1353 (1), 012076.
8. Krivov D.A. Modelirovanie napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya plastin v forme RK-profil'ya pri izmel'chenii plastichnyh materialov // IOP Conference Series: Materials

- Science and Engineering, 2021, 1181, 012020.
9. Gur'yanov G.A., Abdeev B.M. Prikladnaya model' izmel'cheniya sharoobraznoj tverdoj chasticy pryamym udarom o nedeformiruemuyu ploskuyu poverhnost' // Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politehnicheskogo universiteta. Mehanika. 2020. № 1. S. 32–42.
10. Menovschikov V.A., Polyushkin N.G., Yarlykov V.M. Mehanizm kontaktnogo razrusheniya stalej pri staticheskom nagruzhении // Vestnik KrasGAU. 2006. № 10. S. 198–203.
11. Polyushkin N.G. Ocenka mikrotverdosti stal'nyh obrazcov v usloviyah reversivnogo dvizheniya // Nauka i obrazovanie: opyt, problemy, perspektivy razvitiya: mat-ly mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Krasnoyarsk: Krasnoyarskij GAU, 2020. S. 117–120.

Статья принята к публикации 18.01.2024 / The article accepted for publication 18.01.2024.

Информация об авторах:

**Дмитрий Александрович Кривов**, старший преподаватель кафедры общинженерных дисциплин

Information about the authors:

**Dmitry Alexandrovich Krivov**, Senior Lecturer, Department of General Engineering Disciplines

