

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗНАШИВАНИЯ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

М.Ю. Колобов<sup>1</sup>, С.В. Воробьев<sup>1</sup>, Е.В. Миронов<sup>1</sup>, Е.Ю. Куваева<sup>1</sup>, С.Е. Сахаров<sup>1</sup>, В.В. Колобова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ивановский государственный химико-технологический университет, пр. Шереметевский, 7, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: mikhailkolobov@rambler.ru, mironov\_81@mail.ru, keyu24@mail.ru, cergce@mail.ru, ch4rlythec4t@gmail.com

<sup>2</sup>Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева, Советская, д. 45, Иваново, Российская Федерация, 153012

E-mail: kolobovavv@mail.ru

*Разработка методов ускоренных испытаний позволяет существенно сократить сроки создания надежной техники. Создана лабораторная установка для испытания на изнашивание образцов различных материалов при их движении в абразивной массе. Метод использовался для оценки износостойкости различных материалов (сталь Ст. 3, сталь 40X, сталь 45, сталь 65Г) одновременно в одних и тех же условиях изнашивания. Получена зависимость относительной износостойкости образцов от частоты вращения ротора установки.*

*Для определения влияния режимных параметров на износ материалов были проведены исследования в центробежной мельнице. Изнашивание рабочей поверхности разгонных элементов измельчителя происходит в результате скольжения материала по лопаткам. По результатам однофакторных исследований были определены интервалы и уровни варьирования факторов и реализована матрица плана эксперимента 3<sup>3</sup>.*

*Были получены математические модели износа плоских радиальных разгонных элементов измельчителя центробежного действия, изготовленных из тех же марок сталей разной твердости. Графический анализ математических моделей представлен на рисунках. Наибольшее влияние на интенсивность изнашивания разгонных элементов (лопаток) оказывает частота вращения ротора, меньшее – диаметр исходных частиц и производительность измельчителя.*

**Ключевые слова:** абразивный износ, интенсивность изнашивания, лабораторная установка, центробежный измельчитель

## INFLUENCE OF MODE PARAMETERS OF THE EQUIPMENT ON THE INTENSITY OF WEAR OF STRUCTURAL MATERIALS

M.Yu. Kolobov<sup>1</sup>, S.V. Vorobyov<sup>1</sup>, E.V. Mironov<sup>1</sup>, E.Yu. Kuvaev<sup>1</sup>, S.E. Sakharov<sup>1</sup>, V.V. Kolobova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ivanovo State University of Chemical Technology, Sheremetevsky ave., 7, Ivanovo, Russian Federation, 153000

E-mail: mikhailkolobov@rambler.ru, mironov\_81@mail.ru, keyu24@mail.ru, cergce@mail.ru,

ch4rlythec4t@gmail.com

<sup>2</sup>Ivanovo State Agricultural Academy named after D.K. Belyaeva, st. Sovetskaya, 45 Ivanovo, Russian Federation, 153012

E-mail: kolobovavv@mail.ru

*The development of accelerated test methods can significantly reduce the time required to create reliable equipment. A laboratory setup has been created for wear testing of samples of various materials during their movement in the abrasive mass. The method was used to evaluate the wear resistance of various materials (steel St. 3, steel 40X, steel 45, steel 65G) simultaneously under*

*the same wear conditions. The dependence of the relative wear resistance of the samples on the rotor speed of the installation is obtained.*

*To determine the influence of regime parameters on the wear of materials, studies were carried out in a centrifugal mill. The wear of the working surface of the accelerating elements of the grinder occurs as a result of sliding of the material over the blades. Based on the results of single-factor studies, the intervals and levels of factor variation were determined and the matrix of the experiment plan  $3^3$  was implemented.*

*Mathematical wear models were obtained for flat radial accelerating elements of a centrifugal grinder made of the same steel grades of different hardness. Graphical analysis of mathematical models is presented in the figures. The greatest influence on the wear intensity of accelerating elements (blades) is exerted by the rotor speed, the smaller one is the diameter of the initial particles and the performance of the grinder.*

**Key words:** abrasive wear, wear rate, laboratory setup, centrifugal grinder

**Для цитирования:**

Колобов М.Ю., Воробьев С.В., Миронов Е.В., Куваева Е.Ю., Сахаров С.Е., Колобова В.В. Влияние режимных параметров оборудования на интенсивность изнашивания конструкционных материалов. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва)*. 2023. Т. LXVII. № 1. С. 64–69. DOI: 10.6060/R CJ.2022671.9.

**For citation:**

Kolobov M.Yu., Vorobyov S.V., Mironov E.V., Kuvaev E.Yu., Sakharov S.E., Kolobova V.V. Influence of mode parameters of the equipment on the intensity of wear of structural materials. *Ros. Khim. Zh.* 2023. V. 67. N 1. P. 64–69. DOI: 10.6060/R CJ.2022671.9.

## ВВЕДЕНИЕ

Абразивный износ материала можно рассматривать как действие твердых частиц на поверхность детали, с которой она контактирует (процесс трения частицы по поверхности детали). В некоторых случаях частицы могут скользить по поверхности контакта, вызывая ее пластическую деформацию, или проникать в поверхность материала и перемещаться вместе с ней, срезая при этом микрообъемы материала.

Исследование процесса износа затруднено в результате того, что сам процесс изолирован от прямого наблюдения, а также потому, что износу, как правило, подвергаются лишь тонкие поверхностные слои изнашивающихся деталей [1]. Исследованию процесса износа посвящены труды многих ученых [2–19].

Многообразие условий работы деталей машин, а также материалов, используемых в технике, обуславливает различные виды взаимодействия поверхностей и, следовательно, различные виды изнашивания [8–11, 15].

Как показывают многие авторы, в настоящее время нет перспектив создания инженерной расчетной модели износа материалов деталей машин, не базирующейся на экспериментах с конкретными материалами и абразивами.

Решая вопрос о повышении износостойкости какой-либо конкретной детали, работающей в

определенных условиях, необходимо, по возможности ближе моделируя условия реального изнашивания на экспериментальной лабораторной установке, получить подобные же повреждения и на основании данных изучения физико-механических изменений изношенной поверхности и серии сравнительных испытаний найти материал, обладающий наибольшим сопротивлением изнашиванию.

В последние годы в мировой практике наметилась тенденция повышения значимости и роли стендовых испытаний на износ. Наибольший интерес стендовые испытания представляют при ускоренных режимах, так как по сравнению с натурными они значительно сокращают продолжительность испытания и расширяют шкалу уровней факторов нагружения. Современный подход к разработке методов ускоренных испытаний позволит существенно сократить сроки создания надежной техники.

## УСЛОВИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

С учетом этих соображений была разработана лабораторная установка для испытания на изнашивание образцов различных материалов при их движении в абразивной массе (рис. 1) [20].

Установка содержит раму 1, на которой установлен привод вала вращения 2. Привод включает в себя электродвигатель 3, редуктор 4 и муфты 5. Имеется емкость 6 с абразивным материалом 7,

внутри которой на валу вращения установлен ротор 8, на котором закрепляются образцы 9 четырех различных материалов с разным расстоянием от центра ротора в трех положениях рабочей грани образцов под углом к радиусу ротора 0°, 45°, 90°.

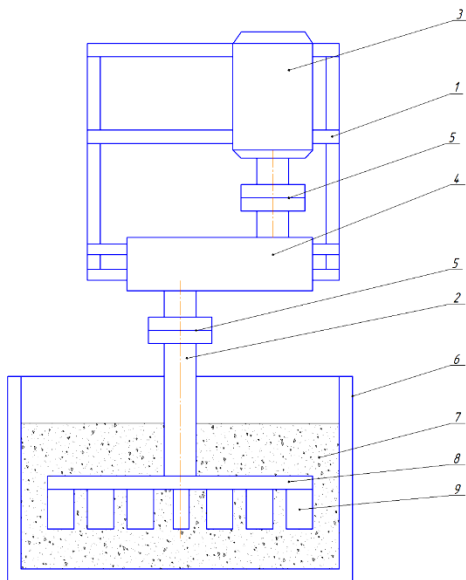


Рис. 1. Лабораторная установка для испытания материалов деталей на абразивный износ

Вал вращения 2 приводится в работу от электродвигателя 3 через редуктор 4 и соответствующие муфты 5. Угловая скорость вращения выбирается в соответствии с линейными скоростями движения образцов материалов при выполнении ими производственных технологических операций. Исследуемые образцы устанавливаются в необходимом положении рабочей грани.

Износ определялся по потере веса, поскольку с помощью измерения веса можно более точно характеризовать изменения образца после трения, чем посредством определения изменения линейных размеров. Метод использовался для оценки износостойкости различных материалов (сталь Ст. 3, сталь 40Х, сталь 45, сталь 65Г) одновременно в одних и тех же условиях изнашивания.

Массовый износ образцов определяли взвешиванием на лабораторных весах марки ВЛКТ – 500 г – М с точностью до 0,01грамма.

Относительная износостойкость материала  $k_{отн.}$ :

$$k_{отн.} = \frac{k_{гэ}}{k_{гм}}, \quad (1)$$

где  $k_{гэ}$  – интенсивность изнашивания эталонного материала, г/кг;

$k_{гм}$  – интенсивность изнашивания исследуемого

материала, г/кг.

В экспериментальных исследованиях по износу плоских образцов применяли кварцевый песок, который многие исследователи используют как модельный материал [12, 13, 21].

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С практической точки зрения интерес представляет относительная износостойкость материала образцов (рис. 2). В качестве эталонного материала принята сталь Ст. 3.

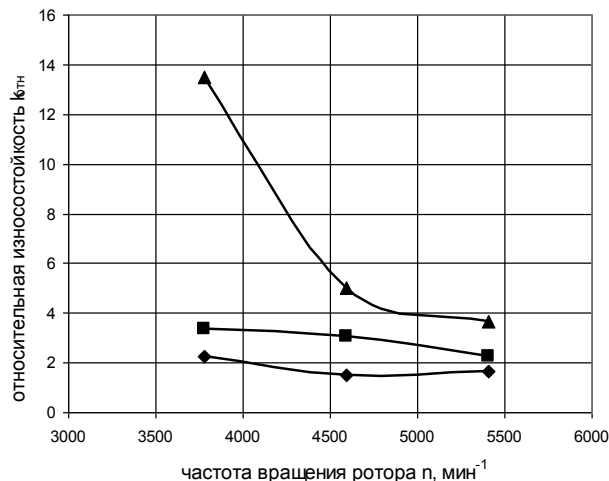


Рис. 2. Зависимость относительной износостойкости образцов от частоты вращения ротора установки  
◆ – сталь 40Х, ■ – сталь 45, ▲ – сталь 65Г

Использование материала образцов, изготовленных из стали 40Х, повышает их ресурс в 1,5–2,0 раза, стали 45 – 2,0–3,0 раза, стали 65Г – 3,5–13,5 раза в зависимости от частоты вращения ротора установки.

Для подтверждения результатов исследований на лабораторной установке и определения влияния режимных параметров на износ материалов были проведены исследования в центробежной мельнице [22].

Широкое распространение в различных отраслях промышленности получили мельницы центробежного действия [23–27]. В центробежных измельчителях частицы измельчаемого материала начинают движение из центра вращающегося ротора, представляющего собой диск с радиально расположенными разгонными элементами (лопатками). Частицы измельчаемого материала захватываются движущимся элементом, разгоняются вдоль него и измельчаются при ударе об отбойник (ударный элемент).

Изнашивание рабочей поверхности разгонных элементов измельчителя происходит в результате скольжения материала по лопаткам. Износ

разгонных лопаток ведет к изменению направления движения и скорости частиц, вылетающих с поверхности лопаток, что отрицательно сказывается на качестве получаемой смеси, энергозатраты процесса измельчения.

По результатам однофакторных исследований были определены интервалы и уровни варьирования факторов и реализована матрица плана эксперимента  $3^3$ . В качестве независимых переменных использовались:

$X_1$  – диаметр исходных частиц, мм;  $X_2$  – частота вращения ротора,  $\text{мин}^{-1}$ ;  $X_3$  – производительность измельчителя, кг/час. В качестве критерия оптимизации выбран:  $Y_1$  – интенсивность изнашивания по массе, г/кг. Диапазоны варьирования факторов:  $0,45 \leq X_1 \leq 1,15$  мм, интервал 0,35 мм;  $3775 \leq X_2 \leq 5405$   $\text{мин}^{-1}$ , интервал 815  $\text{мин}^{-1}$ ;  $200 \leq X_3 \leq 500$  кг/ч, интервал 150 кг/ч.

Были получены математические модели износа плоских радиальных разгонных элементов измельчителя центробежного действия, изготовленных из тех же марок сталей разной твердости:

– для стали Ст. 3:

$$Y_1 = 0,589781 + 0,10778X_1 + 0,541635X_2 + 0,311009X_2^2 - 0,101688X_3 + 0,048474X_3^2 + 0,0375X_1X_2 - 0,045X_2X_3 \quad (2)$$

– для стали 40X:

$$Y_1 = 0,395706 + 0,083899X_1 + 0,345469X_2 + 0,173531X_2^2 - 0,099543X_3 + 0,043784X_3^2 - 0,02875X_2X_3 \quad (3)$$

– для стали 45:

$$Y_1 = 0,247602 + 0,067094X_1 - 0,023146X_1^2 + 0,286737X_2 + 0,179125X_2^2 - 0,06405X_3 + 0,031257X_3^2 + 0,035X_1X_2 - 0,0275X_2X_3 \quad (4)$$

– для стали 65Г:

$$Y_1 = 0,156841 + 0,044097X_1 + 0,165344X_2 + 0,081794X_2^2 - 0,044087X_3 + 0,015408X_3^2 - 0,02125X_1X_2 \quad (5)$$

Графический анализ математических моделей представлен на рис. 3–7.

Интенсивность изнашивания лопаток увеличивается с 0,27 г/кг до 1,79 г/кг (Ст. 3), с 0,12 г/кг до 1,2 г/кг (сталь 40X), с 0,08 г/кг до 0,91 г/кг (сталь 45), с 0,02 г/кг до 0,53 г/кг (сталь 65Г) с повышением частоты вращения ротора с 3775  $\text{мин}^{-1}$  до 5405  $\text{мин}^{-1}$ . Интенсивность изнашивания лопаток при частоте вращения ротора – 5405  $\text{мин}^{-1}$  повышается с 1,2 г/кг до 1,79 г/кг (Ст. 3), с 0,72 г/кг до 1,2 г/кг (сталь 40X), с 0,53 г/кг до 0,91 г/кг (сталь 45), с 0,33 г/кг до 0,53 г/кг (сталь 65Г) с увеличением диаметра исходных частиц от 0,45 мм до 1,15 мм. При повышении производительности от 200 кг/ч до

500 кг/ч при частоте вращения ротора – 5405  $\text{мин}^{-1}$  наблюдается снижение интенсивности изнашивания разгонных лопаток с 1,79 г/кг до 1,44 г/кг (Ст. 3), с 1,2 г/кг до 0,91 г/кг (сталь 40X), с 0,91 г/кг до 0,72 г/кг (сталь 45), с 0,53 г/кг до 0,4 г/кг (сталь 65Г).

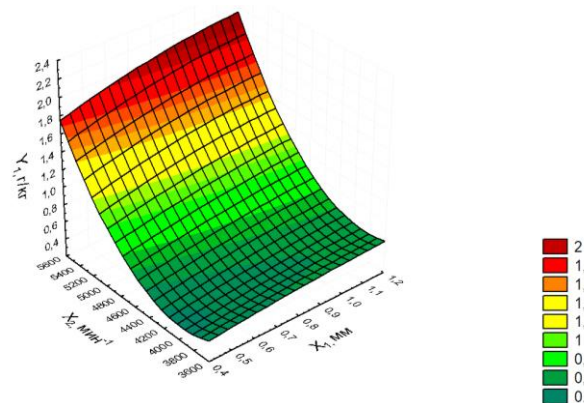


Рис. 3. Зависимость интенсивности изнашивания лопаток ( $Y_1$ ) от диаметра исходных частиц ( $X_1$ ) и частоты вращения ротора ( $X_2$ ) (при производительности измельчителя  $X_3 = 200$  кг/ч, Ст. 3)

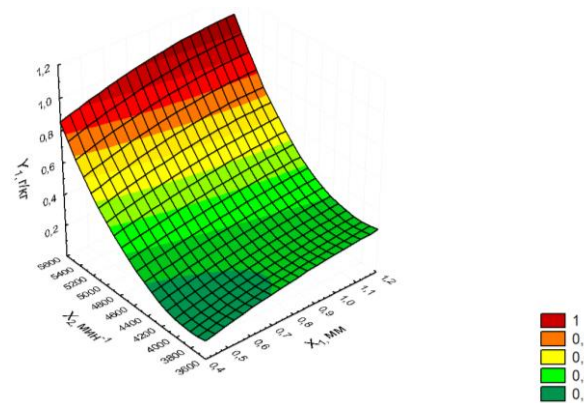


Рис. 4. Зависимость интенсивности изнашивания лопаток ( $Y_1$ ) от диаметра исходных частиц ( $X_1$ ) и частоты вращения ротора ( $X_2$ ) (при производительности измельчителя  $X_3 = 500$  кг/ч, сталь 40X)

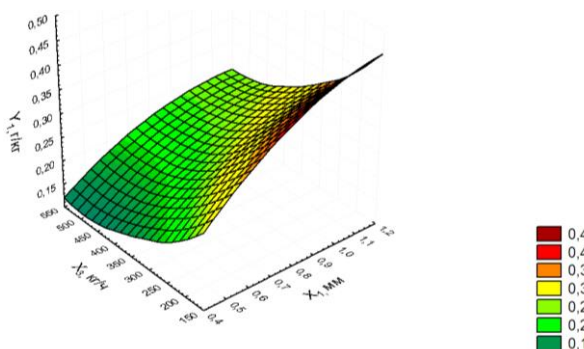


Рис. 5. Зависимость интенсивности изнашивания лопаток ( $Y_1$ ) от диаметра исходных частиц ( $X_1$ ) и производительности измельчителя ( $X_3$ ) (при частоте вращения ротора  $X_2 = 4590$   $\text{мин}^{-1}$ , сталь 45)

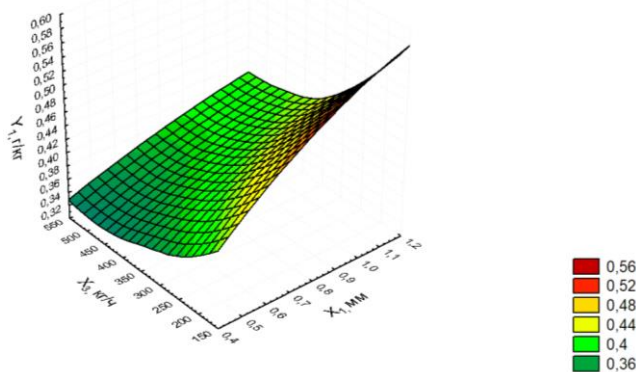


Рис. 6. Зависимость интенсивности изнашивания лопаток ( $Y_1$ ) от диаметра исходных частиц ( $X_1$ ) и производительности измельчителя ( $X_3$ ) (при частоте вращения ротора  $X_2 = 5405 \text{ мин}^{-1}$ , сталь 65Г)

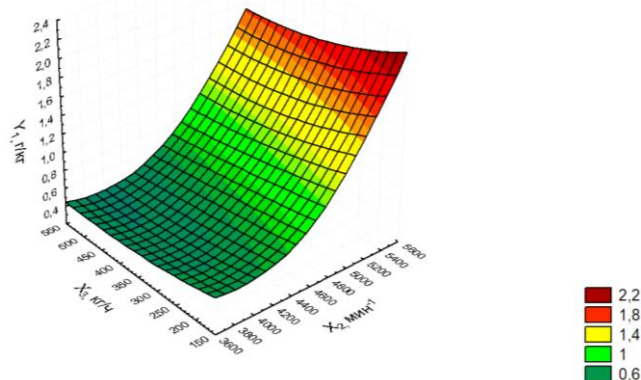


Рис. 7. Зависимость интенсивности изнашивания лопаток ( $Y_1$ ) от частоты вращения ротора ( $X_2$ ) и производительности измельчителя ( $X_3$ ) (при диаметре исходных частиц  $X_1 = 1,15 \text{ мм}$ , Ст. 3)

Таким образом, на лабораторной установке и в центробежном измельчителе показано влияние режимных параметров на интенсивность изнашивания образцов (разгонных элементов), изготовленных из сталей разной твердости. Наибольшее влияние на интенсивность изнашивания разгонных элементов (лопаток) оказывает частота вращения ротора, меньшее – диаметр исходных частиц и производительность измельчителя.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 22–29–01368.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Войнов Б.А. Износостойкие сплавы и покрытия. М.: Машиностроение, 1980. 120 с.
2. Хрущев М.М., Бабичев М.А. Абразивное изнашивание. М.: Наука, 1970. 251 с.
3. Крагельский И.В., Добычин М.Н., Комбалов В.С. Основы расчетов на трение и износ. М.: Машиностроение, 1977. 528 с.
4. Тененбаум М.М. Сопротивление абразивному изнашиванию. М.: Машиностроение, 1976. 271 с.
5. Кащеев В.Н. Абразивное разрушение твердых тел. М.: Наука, 1970. 248 с.
6. Сорокин Г.М. Критерии износостойкости стали в условиях удара по абразиву. Машиноведение. 1973. № 3. С. 111–115.
7. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Албагачиев А.Ю. Изнашивание при ударе. М.: Машиностроение, 1982. 192 с.
8. Виноградов В.Н., Сорокин Г.М., Колокольников М.Г. Абразивное изнашивание. М.: Машиностроение, 1990. 224 с.
9. Погодаев Л.И., Кузьмин В.Н., Дудко П.П. Повышение надежности трибосопрежений. С-Пб.: Академия транспорта РФ, 2001. 304 с.
10. Кogaев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. М.: Высш. шк., 1991. 319 с.
11. Колобов М.Ю. Износ рабочих органов центробежно-ударных мельниц. Ремонт, восстановление, модернизация. 2009. № 8. С. 27–28.
12. Клейс И.Р., Ууэмыйс Х.Х. Износостойкость элементов измельчителей ударного действия. М.: Машиностроение, 1986. 160 с.
13. Лапшин В.Б., Колобова В.В., Боброва Н.В. Соотношение между износом ударных элементов в дезинтеграторе и

Исследования по оценке параметров проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

The authors declare the absence a conflict of interest warranting disclosure in this article.

#### REFERENCES

1. Voinov B.A. Wear-resistant alloys and coatings. M.: Mashinostroenie, 1980. 120 p.
2. Khrushchev M.M., Babichev M.A. Abrasive wear. M.: Nauka, 1970. 251 p.
3. Kragelsky I.V., Dobychin M.N., Komalov V.S. Fundamentals of calculations for friction and wear. M.: Mashinostroenie, 1977. 528 p.
4. Tenenbaum M.M. Abrasion resistance. M.: Mashinostroenie, 1976. 271 p.
5. Kashcheev V.N. Abrasive destruction of solids. M.: Nauka, 1970. 248 p.
6. Sorokin G.M. Criteria for wear resistance of steel under conditions of impact on the abrasive. Mechanical engineering. 1973. N 3. P. 111-115.
7. Vinogradov V.N., Sorokin G.M., Albagachiev A.Yu. Impact wear. M.: Mashinostroenie, 1982. 192 p.
8. Vinogradov V.N., Sorokin G.M., Kolokolnikov M.G. Abrasive wear. M.: Mashinostroenie, 1990. 224 p.
9. Pogodaev L.I., Kuzmin V.N., Dudko P.P. Increasing the reliability of tribocouples. St. Petersburg.: Academy of Transport of the Russian Federation, 2001. 304 p.
10. Kogaev V.P., Drozdov Yu.N. Strength and wear resistance of machine parts. M.: Vyssh. school, 1991. 319 p.
11. Kolobov M.Yu. Wear of the working bodies of centrifugal impact mills. Repair, restoration, modernization. 2009. N 8. P. 27–28.
12. Kleis I.R., Uuemys H.Kh. Wear resistance of impact crusher elements. M.: Mashinostroenie, 1986. 160 p.
13. Lapshin V.B., Kolobova V.V., Bobrova N.V. The ratio between the wear of the impact elements in the disintegrator and the de-

- степенью измельчения абразивного материала в нем. Проблемы и перспективы развития сельскохозяйственной науки и АПК в современных условиях. Сб науч. трудов ИГСХА. Иваново 2004. С. 189–190.
14. *Лапшин В.В., Коньшев И.И., Боброва Н.В., Колобов М.Ю.* Феноменологическая модель процесса измельчения в дезинтеграторе. Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. 2004. Т. 47. Вып. 10. С. 79–82.
  15. Гаркунов Д.Н., Мельников Э.Л., Гаврилюк В.С. Триботехника. М.: КНОРУС. 2015. 408 с.
  16. *Колобов М.Ю., Чагин О.В., Блиничев В.Н.* Повышение долговечности рабочих органов центробежно-ударных измельчителей. Российский химический журнал. 2019. Т. LXIII. № 3–4. С. 40–44. DOI: 10.6060/rcj.2019633.5.
  17. *Гущина Т.В., Гущина Е.А., Колобов М.Ю., Блиничев В.Н.* Исследование мельницы ударно-отражательного действия. Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2020. № 3. С. 54–59.
  18. *Блиничев В.Н., Постникова И.В., Воробьев С.В., Колобов М.Ю., Зуева Г.А.* Интенсификация процесса разрушения поликомпонентных материалов. Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. Иваново, 2022. Т. 65. № 1. С. 109–115. DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6357.
  19. *Боуден Ф.П., Табор Д.* Трение и смазка твердых тел. Перевод с англ. М.: Машиностроение. 1968. 543 с.
  20. *Колобов М.Ю., Миронов Е.В., Чагин О.В., Колобова В.В.* Установка для испытания материалов деталей на абразивный износ. Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XII Всероссийской научно-практической конференции. Иваново, 15 апреля 2021. С. 419–422.
  21. *Осокин Б.И.* Молотковые мельницы. М.: Энергия, 1980. 176 с.
  22. *Колобов М.Ю., Блиничев В.Н., Колобова В.В.* Износ плоских разгонных элементов центробежного измельчителя. Сборник материалов 14 международной научно-технической конференции «Технологическое обеспечение и повышение качества изделий машиностроения и авиакосмической отрасли». Брянск, 5-7 октября 2022 г. С. 62–65.
  23. *Колобов М.Ю., Чагин О.В., Блиничев В.Н.* Increase of Longevity of Working Organs of Centrifugal-Shock Grinding Down. Russian Journal of General Chemistry. 2021. V. 91. N 6. P. 1205–1208. DOI: 10.1134/S10700363221060335.
  24. *Колобов М.Ю., Сахаров С.Е., Чагин О.В., Авалихин А.М., Колобова В.В.* Технические средства для приготовления смесей зерновых компонентов комбикормов. Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2021. № 2. С. 108–117. DOI: 10.6060/snt.20216602.00015.
  25. *Гущина Т.В., Гущина Е.А., Колобов М.Ю., Блиничев В.Н.* Исследование мельницы ударно-отражательного действия. Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2020. № 3. С. 54–59.
  26. *Макаров В.М., Соловьева О.Ю., Никитина Е.Л.* Влияние механохимической обработки ингредиентов на структуру и свойства резиновых смесей и резин на основе 1,4-цис-полиизопрена. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2020. Т. 63. Вып. 5. С. 89–93. DOI: 10.6060/ivkkt.20206305.6162.
  27. *Лотов В.А., Сударев Е.А., Кутугин В.А.* Предварительная активация цементно-песчаной смеси с целью повышения прочности бетона. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2022. Т. 65. Вып. 8. С. 94–101. DOI: 10.6060/ivkkt.20226508.6595.
  14. *Lapshin V.B., Konyshov I.I., Bobrova N.V., Kolobov M.Yu.* Phenomenological model of the grinding process in the disintegrator. News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. Ivanovo, 2004. V. 47. N 10. P. 79–82.
  15. *Garkunov D.N., Melnikov E.L., Gavrilyuk V.S.* Tribotechnics. M.: KNORUS, 2015. 408 p.
  16. *Kolobov M.Yu., Chagin O.V., Blinichev V.N.* Increasing the durability of the working bodies of centrifugal impact grinders. Russian Chemical Journal. Ivanovo, 2019. V. LXIII. N 3–4. P. 40–44. DOI: 10.6060/rcj.2019633.5.
  17. *Gushchina T.V., Gushchina E.A., Kolobov M.Yu., Blinichev V.N.* Research of a mill of shock-reflective action. Modern science-intensive technologies. Regional application. Ivanovo, 2020. N 3. P. 54–59.
  18. *Blinichev V.N., Postnikova I.V., Vorobyov S.V., Kolobov M.Yu., Zueva G.A.* Intensification of the process of destruction of polycomponent materials. News of higher educational institutions. Chemistry and chemical technology. 2022. V. 65. N 1. P. 109–115. DOI: 10.6060/ivkkt.20226501.6357.
  19. *Bowden F.P., Tabor D.* Friction and lubrication of solid bodies. Translation from English. M.: Mashinostroenie, 1968. 543 p.
  20. *Kolobov M.Yu., Mironov E.V., Chagin O.V., Kolobova V.V.* Installation for testing materials of parts for abrasive wear. Reliability and durability of machines and mechanisms. Collection of materials of the XII All-Russian scientific-practical conference. Ivanovo, April 15, 2021. P. 419–422.
  21. *Osokin B.I.* Hammer mills. M.: Energy, 1980. 176 p.
  22. *Kolobov M.Yu., Blinichev V.N., Kolobova V.V.* Wear of flat accelerating elements of a centrifugal grinder. Collection of materials of the 14th international scientific and technical conference "Technological support and improvement of the quality of mechanical engineering and aerospace products." Bryansk, October 5-7, 2022. P. 62–65.
  23. *Kolobov M.Yu., Chagin O.V., Blinichev V.N.* Increase of Longevity of Working Organs of Centrifugal-Shock Grinding Down. Russian Journal of General Chemistry. 2021. V. 91. N 6. P. 1205–1208. DOI: 10.1134/S10700363221060335.
  24. *Kolobov M.Yu., Sakharov S.E., Chagin O.V., Avalikhin A.M., Kolobova V.V.* Technical means for the preparation of mixtures of grain components of animal feed. Modern science-intensive technologies. Regional application. Ivanovo. 2021. N 2. P. 108–117. DOI: 10.6060/snt.20216602.00015.
  25. *Gushchina T.V., Gushchina E.A., Kolobov M.Yu., Blinichev V.N.* Research of a mill of shock-reflective action. Modern science-intensive technologies. Regional application. Ivanovo, 2020. N 3. P. 54–59.
  26. *Makarov V.M., Solovyeva O.Y., Nikitina E.L.* Effect of mechanochemical treatment of ingredients on structure and properties of rubber mixtures and rubbers on basis of 1,4-cis-polyisoprene. ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2020. V. 63. N 5. P. 89–93. DOI: 10.6060/ivkkt.20206305.6162.
  27. *Lotov V.A., Sudarev E.A., Kutugin V.A.* Preliminary activation of cement-sand mixture in order to increase the strength of concrete. ChemChemTech [Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.]. 2022. V. 65. N 8. P. 94–101. DOI: 10.6060/ivkkt.20226508.6595.

Поступила в редакцию (Received) 17.02.2023

Принята к опубликованию (Accepted) 15.03.2023