

taps with specialized filters at their outlet into the installation scheme is explained by the possibility of extending the service life of the main expensive cleaning filter, which, as a rule, is not designed to filter a number of emergency discharges. A damper valve rotating around its axis in the form of a cylindrical flow distributor located at the point where the pipe branches into four pipelines is used as the main mechanism for distributing liquid passing through the drain pipe. The measuring mechanism of the system uses optoelectronic sensors tuned to possible pollutants that may enter the aquatic environment from a particular enterprise. The installation offers the possibility to control automatically changes in the optical density of the aqueous medium flowing through the pipeline, and in case of contamination in the form of emergency discharges, change the position of the damper to drain contaminated water for additional filtration or into a storage. An algorithm and an electrical circuit of an automated system based on a microcontroller have been developed. This system reduces the risk of environmental pollution, extends the service life of a common expensive cleaning filter and reduces the degree of participation of service personnel in monitoring pollution in the wastewater system of the enterprise. Calculations have shown that the probability of applying unjustified environmental sanctions is reduced by 10 %, and the relative error of causing irreparable harm to the environment is reduced in half.

Key words: automated system, algorithm and operation program of the microcontroller, emergency discharges, optoelectronic sensors.

For citation: Gusennikov E. N., Yuran S. I., Usoltsev V. P. Automated system for eliminating emergency discharges of agricultural enterprises. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2024; 3(79): 99-106. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_3_99-106.

Authors:

E. N. Gusennikov¹, Postgraduate student;

S. I. Yuran²✉, Doctor of Technical Sciences, Professor, <https://orcid.org/0000-0003-0440-0012>;

V. P. Usoltsev³, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

^{1,2}Udmurt State Agricultural University, 11 Studencheskaya St., Izhevsk, Russia, 426069

³Kalashnikov ISTU, 7 Studencheskaya St., Izhevsk, Russia, 426069

²yuran-49@yandex.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 06.05.2024; одобрена после рецензирования 15.05.2024; принята к публикации 06.09.2024.

The article was submitted 06.05.2024; approved after reviewing 15.05.2024; accepted for publication 06.09.2024.

Научная статья

УДК 631.363.25.02

DOI 10.48012/1817-5457_2024_3_106-113

РЕГРЕССИОННАЯ МОДЕЛЬ ИЗНОСА РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛОПАСТЕЙ БАРАБАНА ДРОБИЛКИ ЗЕРНА СЕРИИ ДКР

Дородов Павел Владимирович¹✉, **Петров Виталий Анатольевич**²,
Торопов Лев Алексеевич³

^{1,2}Удмуртский ГАУ, Ижевск, Россия

³ООО ПК «СОЮЗ», Ижевск, Россия

¹pvd80@mail.ru

Аннотация. Развитие сельскохозяйственного производства в России связано с отраслью животноводства как молочного направления, так и мясного. Сегодня в России все большую долю рынка занимают хозяйства и крупные предприятия АПК, заинтересованные в новых технологиях, эффективных технических средствах, способных повысить рентабельность производства сельскохозяйственной продукции. Одно из перспективных направлений – это снижение издержек при производстве кормов, так как они в структуре себестоимости производства мяса, молока и других продуктов животновод-

ства составляют более 60 %. Большая доля продуктивности крупного рогатого скота зависит именно от их качества. При приготовлении концентрированных кормов сельскохозяйственные предприятия широко применяют молотковые дробилки роторно-пневматического типа, например, дробилки серии ДКР. Данное оборудование имеет конструктивные и технологические особенности в виде осевой загрузки рабочего барабана под действием разрежения в подающем рукаве. Именно осевая загрузка является основной причиной неравномерного распределения зернового вороха на рабочих поверхностях барабана, вследствие чего происходит неравномерное его изнашивание и снижение долговечности лопастного колеса – наиболее трудоемкого при восстановлении узла дробилки. Для решения проблемы интенсификации и крайне неравномерного износа лопастей колеса барабана необходимо провести исследования разрушенных рабочих поверхностей лопастей и построить регрессионную модель износа по остаточной их толщине. Измерения остаточной толщины лопастей проводились по стандартной методике с применением микрометра МК-25 и индикатора часового типа ИЧ-10 через равные промежутки по внутреннему контуру, среднему сечению и наружному контуру. В результате расчетов получили оптимальный угол наклона лопасти β в различных сечениях, который соответствует 7° для внутреннего контура, $10,2^\circ$ для среднего сечения и $13,5^\circ$ для наружного контура. Регрессионный анализ результатов измерений позволяет рассчитать оптимальное расположение лопастей, при котором будет обеспечено близкое к равномерному распределение контактных напряжений на поверхности износа.

Ключевые слова: дробилка зерна, регрессионная модель износа, контактные напряжения, разрушение лопастного колеса, ресурс дробилки, оптимизация конструкции барабана, коэффициент нормальных контактных напряжений.

Для цитирования: Дородов П. В., Петров В. А., Торопов Л. А. Регрессионная модель износа рабочей поверхности лопастей барабана дробилки зерна серии ДКР // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 3(79). С. 106-113. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_3_106-113.

Актуальность. Интенсификация сельскохозяйственного производства, как и любого другого, требует увеличения производительности труда путем применения высокоэффективных машин и оборудования [6]. Увеличение производительности любой технической системы влечет за собой изменение конструктивных параметров деталей и узлов, зачастую требующих их оптимального проектирования [2, 3, 8, 10, 11]. На рисунке 1 представлена дробилка зерна ДКР-4 при замене изношенного молоткового барабана. По количеству замененных узлов барабана можно судить о высокой интенсивности их использования. К примеру, в АО «Путь Ильича» Удмуртской Республики за сезон приходится менять или восстанавливать 2–3 барабана на одной дробилке в каждом кормоцехе (рис. 2).



Рисунок 1 – Молотковая дробилка зерна ДКР-4 с изношенным барабаном

Также стоит обратить внимание на характер износа составных частей молотковых барабанов (рис. 3). На рисунке 3а наглядно просматривается неравномерное изменение толщины пластинчатого элемента конструкции, что является следствием аэроабразивного износа. Видно, что в процессе эксплуатации дробилки неравномерный износ приводит к преждевременному разрушению лопастей барабана, вследствие чего дробилка полностью теряет свою работоспособность. На рисунке 3б заметно, что металл разрушается до потери несущей способности вплоть до появления выреза.

Целью работы является определение закономерности износа рабочих поверхностей лопастей барабана для повышения долговечности дробилки зерна путем оптимизации конструкции.



Рисунок 2 – Вышедшие из строя молотковые барабаны в АО «Путь Ильича»

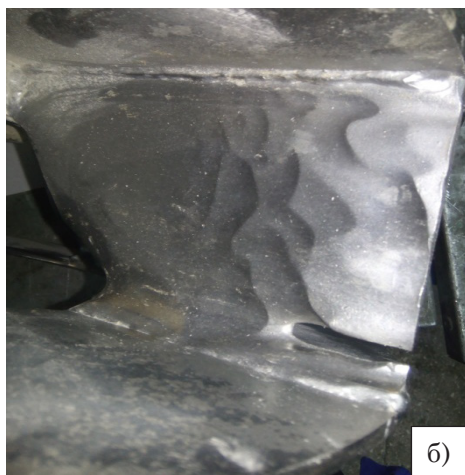


Рисунок 3 – Разрушение рабочей поверхности лопасти колеса барабана: а) неравномерный износ лопасти по наружному контуру; б) износ лопасти до появления выреза

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи: определить величину износа поверхности лопастей в трех сечениях – по внутреннему контуру, среднему сечению и внешнему контуру; выполнить статистическую обработку полученных данных; определить удельные нагрузки и обосновать изменение конструкции.

Материал и методы исследования. Замеры толщины изношенной поверхности четырех лопастей колеса барабана дробилки выполнены в трех сечениях: по внутреннему контуру, среднему сечению и внешнему контуру. Для исследований использовали стандартные измерительные инструменты: штангенциркуль и индикатор часового типа. Статистическая обработка проводилась в программе Microsoft Excel [12–14].

Результаты исследования. При наработке дробилки в 720 т были проведены исследования контактных напряжений по износу, замеренному в трех сечениях лопасти: внутреннем при $y = -c$; среднем при $y = 0$; наружном при $y = +c$, как показано на рисунке 4.

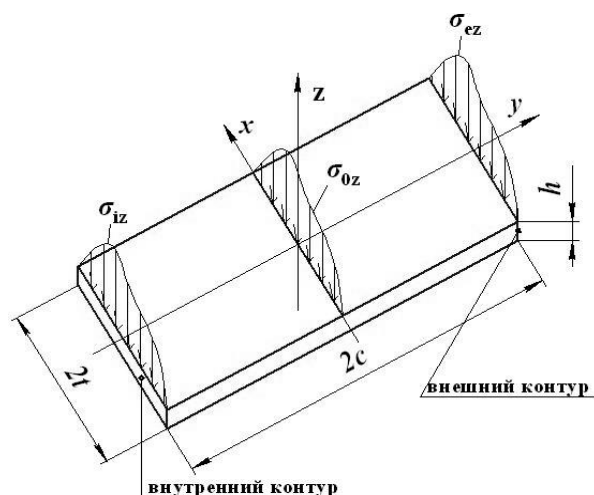


Рисунок 4 – Схема измерений на лопасти

Также на рисунках 5–7 показаны результаты замеров остаточной толщины для внутреннего контура, среднего сечения и внешнего контура на каждой из четырех лопастей колеса. Первоначальная толщина (неизношенной) лопасти составляла 8 мм. Отсутствие износа по краям лопастей объясняется наличием сварных швов.

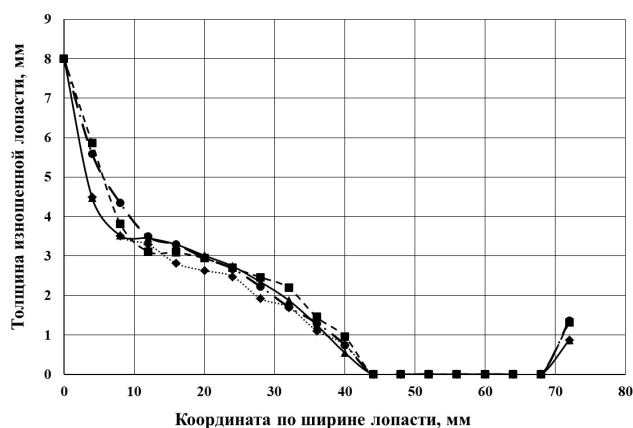


Рисунок 5 – Толщина изношенной поверхности по внутреннему контуру четырех лопастей колеса

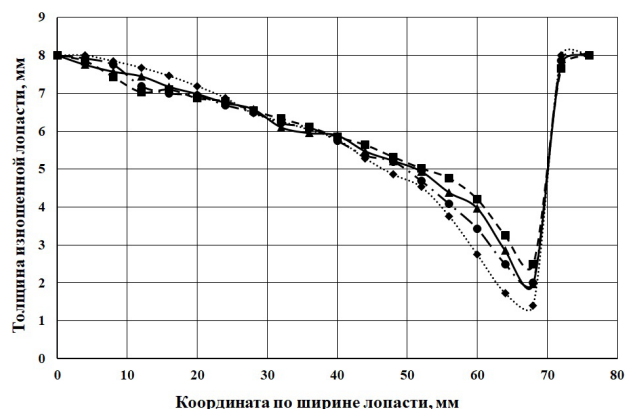


Рисунок 6 – Толщина изношенной поверхности по среднему сечению четырех лопастей колеса



Рисунок 7 – Толщина изношенной поверхности по внешнему контуру четырех лопастей колеса

Из графиков прослеживается явная идентичность характера износа рабочей поверхности лопастей.

По полученным данным определялась средняя толщина изношенной поверхности как среднеарифметическое значение, которое приводилось к безразмерной величине h_w по следующей зависимости:

$$h_w = \frac{1}{4h} \sum_{i=1}^4 h_i, \quad (1)$$

где h_i – толщина изношенной поверхности i -той лопасти в точке замера;

h – первоначальная толщина лопасти (8 мм).

Графическое представление h_w показано на рисунке 8. Маркерами показаны значения в точках замера.

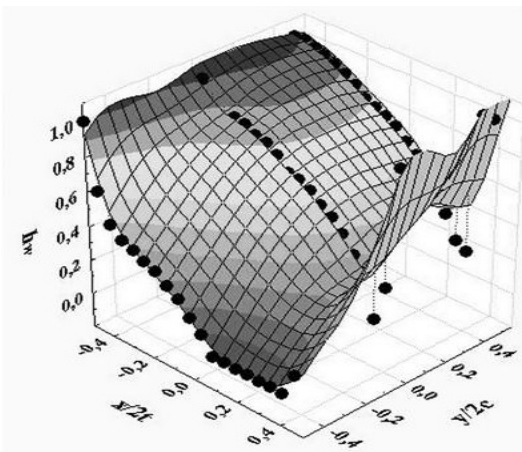


Рисунок 8 – Усредненная форма изношенной поверхности лопасти

Тогда средняя величина износа в безразмерных величинах находится:

$$\Delta_w = \frac{\Delta}{h} = 1 - h_w, \quad (2)$$

где Δ – среднеарифметическая величина износа, м.

На рисунках 9–11 показаны средние величины износа с линиями трендов, по которым получены уравнения регрессии в трех сечениях.

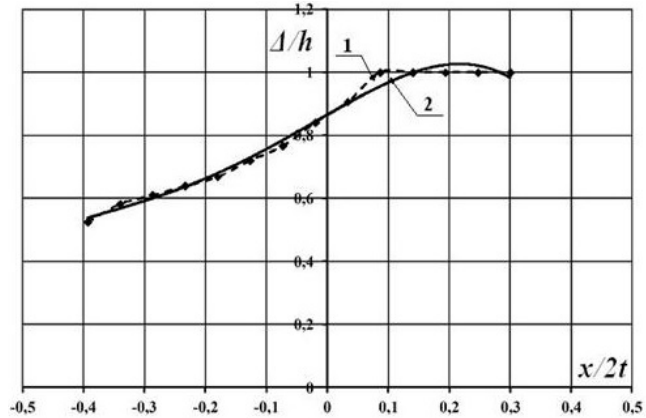


Рисунок 9 – Средняя величина износа на внутреннем контуре лопасти: 1 – линия, построенная по замерам; 2 – линия тренда

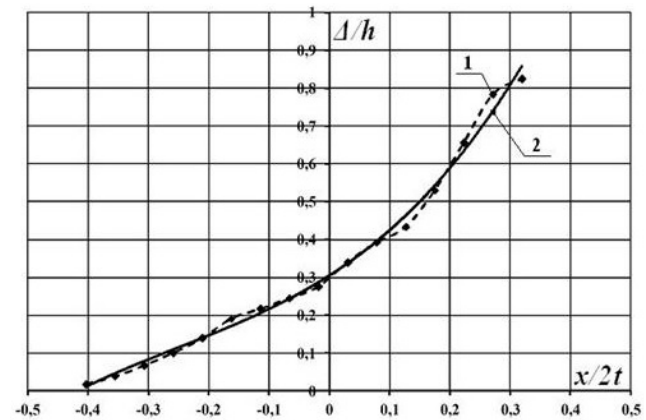


Рисунок 10 – Средняя величина износа в среднем сечении лопасти: 1 – линия, построенная по замерам; 2 – линия тренда

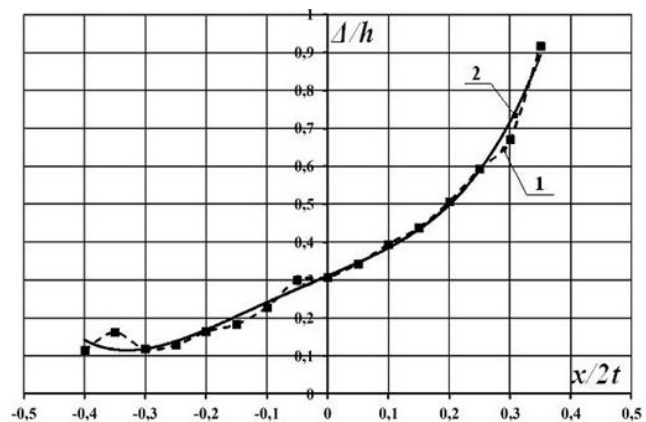


Рисунок 11 – Средняя величина износа на внешнем контуре лопасти: 1 – линия, построенная по замерам; 2 – линия тренда

Уравнение регрессии для функции износа на внутреннем контуре имеет вид:

$$\Delta_w = -6,8127x_1^4 - 5,141x_1^3 - 0,2527x_1^2 + 1,113x_1 + 0,8648, \quad (3)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9898$. Здесь $x_l = x/2t$.

Уравнение регрессии для функции износа в среднем сечении имеет вид:

$$\Delta_w = 2,0748x_1^3 + 1,563x_1^2 + 1,0225x_1 + 0,305, \quad (4)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9943$, $x_l = x/2t$.

Уравнение регрессии для функции износа на внешнем контуре имеет вид:

$$\Delta_w = 12,234x_1^4 + 3,4181x_1^3 + 0,0782x_1^2 + 0,6883x_1 + 0,3111, \quad (5)$$

с коэффициентом детерминации $R^2 = 0,9912$, $x_l = x/2t$.

Полученные уравнения регрессии (3) - (5) в общем виде

$$\Delta_w = a_0 + \sum_{n=1}^4 a_n x^n = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4, \quad (6)$$

позволяют найти коэффициенты для расчета контактных напряжений [7, 15, 16]:

$$\sigma_z(x) = -\frac{8P\sqrt{t^2 - x^2}}{\pi t^2 (4k_2 + 3k_4 t^2)} \left(k_2 + k_3 x + k_4 \left(\frac{t^2}{2} + x^2 \right) \right) = -\frac{16p \sqrt{1 - \left(\frac{x}{t} \right)^2}}{\pi(4k_2 + 3k_4 t^2)} \left(k_2 + k_3 x + k_4 \left(\frac{t^2}{2} + x^2 \right) \right); \quad (7)$$

где $k_2 = 2a_2$; $k_3 = 3a_3$; $k_4 = 4a_4$, $p = P/2t$ – величина среднего давления частиц материала на лопасть.

То есть для внутреннего контура –

$$\left. \begin{aligned} k_2 &= 2 \times (-0,2527) = -0,5054, \\ k_3 &= 3 \times (-5,141) = -15,423, \\ k_4 &= 4 \times (-6,8127) = -27,2508, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

для среднего сечения –

$$\left. \begin{aligned} k_2 &= 2 \times 1,563 = 3,126, \\ k_3 &= 3 \times 2,0748 = 6,2244, \\ k_4 &= 4 \times 0 = 0, \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

для внешнего контура –

$$\left. \begin{aligned} k_2 &= 2 \times 0,0782 = 0,1564, \\ k_3 &= 3 \times 3,4181 = 10,2543, \\ k_4 &= 4 \times 12,234 = 48,936. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Выражение для контактных напряжений (7) позволяет оптимизировать конструкцию лопастного колеса, при этом за критерий оптимальности принимаем коэффициент контактных нормальных напряжений g_o , а условие оптимальности – его стремление к единице [15, 16]:

$$g_o = \frac{\sigma_z}{(-p)} = -\frac{16p \sqrt{1 - \left(\frac{x}{t} \right)^2}}{\pi(4k_2 + 3k_4 t^2)} \left(k_2 + k_3 x + k_4 \left(\frac{t^2}{2} + x^2 \right) \right) \rightarrow 1. \quad (11)$$

При коэффициенте контактных напряжений, равном единице, имеем условие равнопрочности, когда контактные нормальные напряжения на рабочей поверхности лопасти распределены равномерно. Для плоской срединной поверхности при прямой нейтральной линии сечения лопасти условие равнопрочности не выполняется, поэтому задаемся условием оптимальности, когда линия действия равнодействующей пересекает продольную ось лопасти. Для этого необходимо наклонить лопасть к ее первоначальному положению под углом β , который находится через координаты центра тяжести плоской фигуры, ограниченной эпюрой g_o [1, 4, 5, 9].

В результате расчетов получили оптимальный угол наклона лопасти β в различных сечениях, который соответствует 7° для внутреннего контура, $10,2^\circ$ для среднего сечения и $13,5^\circ$ для наружного контура.

Выводы:

1. Метрологические исследования остаточной толщины в трех сечениях изношенных лопастей колеса барабана указывают на то, что износ происходит вследствие крайне неравномерного распределения потока зернового вороха от контактного взаимодействия.

2. Результаты регрессионного анализа износа рабочей поверхности лопасти с достоверностью 98 % позволяют рассчитать величину контактных напряжений.

3. Коэффициент нормальных контактных напряжений, выбранный в качестве критерия оптимизации, позволяет усовершенствовать конструкцию колеса путем наклона лопасти под расчетным углом к продольной оси барабана.

4. Оптимальное расположение лопастей будет под расчетным углом к продольной оси барабана, который должен изменяться в пределах от 7° на внутреннем контуре до $13,5^\circ$ на внешнем контуре колеса.

Список источников

1. Александров В. М., Чебаков М. И. Введение в механику контактных взаимодействий. Ростов-на-Дону: ООО «ЦВВР», 2007. 114 с.

2. Ерохин М. Н., Казанцев С. П., Чупятов Н. Н. Способы модифицирования поверхностей трения деталей машин. Москва: Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина, 2014. 140 с.

3. Ерохин М. Н., Скороходов Д. М., Павлов А. С. Импортозамещение рабочих органов сельскохозяйственных машин для животноводства // Международная научная конференция молодых ученых и специалистов, посвященная 180-летию со дня рождения К. А. Тимирязева: сборник статей, Москва, 05–07 июня 2023 г. Москва: РГАУ-МСХА, 2023. С. 557–561.

4. Износостойкость низколегированных сталей в абразивной среде / М. Н. Ерохин, С. М. Гайдар, Д. М. Скороходов [и др.] // Агроинженерия. 2023. Т. 25, № 3. С. 72–78.

5. Константинов В. И., Пастухов А. Г. Расчет на износ рабочих органов сельскохозяйственных машин // Горинские чтения. Инновационные решения для АПК: материалы VI Международной студенческой научной конференции, Майский, 13–15 марта 2024 г. Майский: ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2024. С. 98–99.

6. Михайличенко С. М., Купреенко А. И. Автоматизация процессов приготовления и раздачи рационов кормления на фермах КРС // Техника и технологии в животноводстве. 2023. № 1 (49). С. 11–19.

7. Петров В. А. Повышение надежности дробилки зерна путем оптимизации конструкции лопастного колеса барабана: дис. ... канд. техн. наук. Ижевск, 2023. 182 с.

8. Производство и ремонт отечественных машин для агропромышленного комплекса с позиции принципа 5М / М. Н. Ерохин, О. А. Леонов, Н. Ж. Шкаруба [и др.] // Вестник машиностроения. 2023. № 8. С. 701–704.

9. Самуков Н. Д., Фоллин Д. И. Разработка лабораторного стенда для ресурсно-динамических испытаний рабочих органов сельскохозяйственной техники в животноводстве // Реинжиниринг и цифровая трансформация эксплуатации транспортно-технологических машин и робототехнических комплексов: сборник статей Московской международной межвузовской научно-технической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых (г. Москва, 19–20 декабря 2023 г.). Москва: РГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева, 2024. С. 250–254.

10. Сельскохозяйственная техника. Машины и оборудование для послепосевной обработки зерна: каталог / И. Г. Голубев, Н. П. Мишуров, В. Ф. Федоренко [и др.]. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. 80 с.

11. Сельскохозяйственная техника. Техника для заготовки кормов: каталог / М. Н. Болотина, Н. П. Мишуров, В. Ф. Федоренко [и др.]. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. 88 с.

12. Федоров О. С., Ширококов В. И. Пути интенсификации технологического процесса измельчения зерна в молотковых дробилках // Инновационные решения стратегических задач агропромышленного комплекса: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию Удмуртского ГАУ. В 3 т., Ижевск, 28 февраля – 05 марта 2023 г. Ижевск: УдГАУ, 2023. Т. 3. С. 63–67.

13. Ширококов В. И., Баженов В. А., Мякишев А. А. Метрологическое обеспечение исследований дробилки зерна // Инновационные технологии для реализации программы научно-технического развития сельского хозяйства: материалы Международной научно-практической конференции: в 3 томах, Ижевск, 13–16 февраля 2018 г. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2018. Т. II. С. 200–203.

14. Ширококов В. И., Шмыков С. Н. Комплексная оценка эффективности работы дробилок зерна открытого и закрытого типов // Развитие инженерного образования и его роль в технической модернизации АПК: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию подготовки инженеров-механиков Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, Ижевск, 11–13 ноября 2020 г. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. С. 230–235.

15. Investigation of the main mechanical characteristics of plastics for three-dimensional printing of machine parts models / P. V. Dorodov, V. V. Kasatkin, N. Y. Kasatkina [et al.]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2020 г. / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Vol. Volume 677. Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 52041. DOI 10.1088/1755-1315/677/5/052041.

16. Rigidity, creep and dynamic strength of plastics for three-dimensional printing of machine parts / P. V. Dorodov, V. V. Kasatkin, P. L. Lekomcev [et al.]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 ноября 2020 г. / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Vol. Volume 677. Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 52045. DOI 10.1088/1755-1315/677/5/052045.

References

1. Aleksandrov V. M., Chebakov M. I. Vvedenie v mekhaniku kontaktnykh vzaimodejstvij. Rostov-na-Donu: ООО «CVVR», 2007. 114 s.

2. Erohin M. N., Kazancev S. P., Chupyatov N. N. Sposoby modifitsirovaniya poverhnostej treniya de-

talej mashin. Moskva: Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet im. V. P. Goryachkina, 2014. 140 s.

3. Erohin M. N., Skorohodov D. M., Pavlov A. S. Importozameshchenie rabochih organov sel'skohozyajstvennyh mashin dlya zhivotnovodstva // Mezhdunarodnaya nauchnaya konferenciya molodyh uchenyh i specialistov, posvyashchennaya 180-letiyu so dnya rozhdeniya K. A. Timiryazeva: sbornik statej, Moskva, 05–07 iyunya 2023 g. Moskva: RGAU-MSKHA, 2023. S. 557–561.

4. Iznosostojkost' nizkolegированных stalej v abrazivnoj srede / M. N. Erohin, S. M. Gajdar, D. M. Skorohodov [i dr.] // Agroinzheneriya. 2023. T. 25, № 3. S. 72–78.

5. Konstantinov V. I., Pastuhov A. G. Raschet na iznos rabochih organov sel'skohozyajstvennyh mashin // Gorinskie chteniya. Innovacionnye resheniya dlya APK: materialy VI Mezhdunarodnoj studencheskoj nauchnoj konferencii, Majskij, 13–15 marta 2024 g. Majskij: FGBOU VO Belgorodskij GAU, 2024. S. 98–99.

6. Mihajlichenko S. M., Kuprenko A. I. Avtomatizaciya processov prigotovleniya i razdachi racionov kormleniya na fermah KRS // Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. 2023. № 1 (49). S. 11–19.

7. Petrov V. A. Povyshenie nadezhnosti drobilki zerna putem optimizacii konstrukcii lopastnogo koleasa barabana: dis. ... kand. tekhn. nauk. Izhevsk, 2023. 182 s.

8. Proizvodstvo i remont otechestvennyh mashin dlya agropromyshlennogo kompleksa s pozicij principa 5M / M. N. Erohin, O. A. Leonov, N. Zh. Shkaruba [i dr.] // Vestnik mashinostroeniya. 2023. № 8. S. 701–704.

9. Samukov N. D., Foflin D. I. Razrabotka laboratornogo stenda dlya resursno-dinamicheskikh ispytaniy rabochih organov sel'skohozyajstvennoj tekhniki v zhivotnovodstve // Reinzhiniring i cifrovaya transformaciya ekspluatatsii transportno-tekhnologicheskikh mashin i robototekhnicheskikh kompleksov: sbornik statej Moskovskoj mezhdunarodnoj mezhvuzovskoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii studentov, magistrantov, aspirantov i molodyh uchenyh (g. Moskva, 19–20 dekabrya 2023 g.). Moskva: RGAU-MSKHA im. K. A. Timiryazeva, 2024. S. 250–254.

10. Sel'skohozyajstvennaya tekhnika. Mashiny i oborudovanie dlya posleuborochnoj obrabotki zerna: katalog / I. G. Golubev, N. P. Mishurov, V. F. Fedorenko [i dr.]. Moskva: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2023. 80 s.

11. Sel'skohozyajstvennaya tekhnika. Tekhnika dlya zagotovki kormov: katalog / M. N. Bolotina, N. P. Mishurov, V. F. Fedorenko [i dr.]. Moskva: FGBNU «Rosinformagrotekh», 2022. 88 s.

12. Fedorov O. S., Shirobokov V. I. Puti intensivizacii tekhnologicheskogo processa izmel'cheniya zerna v molotkovykh drobillkah // Innovacionnye resheniya strategicheskikh zadach agropromyshlennogo kompleksa: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 80-letiyu Udmurtskogo GAU. V 3 t., Izhevsk, 28 fevralya – 05 marta 2023 g. Izhevsk: UdGAU, 2023. T. 3. S. 63–67.

13. Shirobokov V. I., Bazhenov V. A., Myakishev A. A. Metrologicheskoe obespechenie issledovaniy drobilki zerna // Innovacionnye tekhnologii dlya realizacii programmy nauchno-tekhnicheskogo razvitiya sel'skogo hozyajstva: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii: v 3 tomah, Izhevsk, 13–16 fevralya 2018 g. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2018. T. II. S. 200–203.

14. Shirobokov V. I., Shmykov S. N. Kompleksnaya ocenka effektivnosti raboty drobilok zerna otkrytogo i zakrytogo tipov // Razvitie inzhenernogo obrazovaniya i ego rol' v tekhnicheskoy modernizacii APK: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj 65-letiyu podgotovki inzhenerov-mekhanikov Izhevskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademiej, Izhevsk, 11–13 noyabrya 2020 g. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2021. S. 230–235.

15. Investigation of the main mechanical characteristics of plastics for three-dimensional printing of machine parts models / P. V. Dorodov, V. V. Kasatkin, N. Y. Kasatkina [et al.]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 noyabrya 2020 g. / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Vol. Volume 677. Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 52041. DOI 10.1088/1755-1315/677/5/052041.

16. Rigidity, creep and dynamic strength of plastics for three-dimensional printing of machine parts / P. V. Dorodov, V. V. Kasatkin, P. L. Lekomcev [et al.]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Krasnoyarsk, 18–20 noyabrya 2020 g. / Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Vol. Volume 677. Krasnoyarsk, Russian Federation: IOP Publishing Ltd, 2021. P. 52045. DOI 10.1088/1755-1315/677/5/052045.

Сведения об авторах:

П. В. Дородов^{1✉}, доктор технических наук, доцент,
<https://orcid.org/0000-0003-1478-5876>;

В. А. Петров², старший преподаватель;

Л. А. Торопов³, директор

^{1,2}Удмуртский ГАУ, ул. Студенческая, 9, Ижевск, Россия, 426069

³ООО ПК «СОЮЗ», ул. Ленина, 142, Ижевск, Россия, 426075

¹pvd80@mail.ru

Original article

REGRESSION MODEL OF WEAR OF THE WORKING SURFACE OF BLADES OF THE DKR SERIES GRAIN CRUSHER DRUM

Pavel V. Dorodov¹✉, Vitaly A. Petrov², Lev A. Toropov³^{1,2}Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russia³OOO PK Soyuz, Izhevsk, Russia¹pvd80@mail.ru

Abstract. The development of agricultural production in Russia is associated with both dairy and meat livestock breeding. Nowadays an increasing share of the market in Russia is occupied by farms and large agricultural enterprises interested in new technologies, effective technical means capable of increasing the profitability of agricultural production. One of the promising areas is to reduce feed production costs, since they account for more than 60% of the cost of production of meat, milk and other livestock products. A large proportion of the productivity of cattle depends precisely on their quality. When preparing concentrated feed, agricultural enterprises widely use rotary-pneumatic hammer crushers, for example, crushers of the DKR series. This equipment has design and technological features as the axial loading of the working drum under the action of discharge in the feeding arm. It is the axial loading that is the main reason for the uneven distribution of the grain pile on the working surfaces of the drum, resulting in its uneven wear and a decrease in the durability of the blade wheel, which is the most time-consuming while restoring the crusher assembly. To solve the problem of intensive and extremely uneven wear of the drum wheel blades, it is necessary to study the destroyed working surfaces of the blades and develop a regression model of wear based on their residual thickness. Measurements of the residual thickness of the blades were carried out according to a standard technique using a MK-25 micrometer and an ICh-10 dial indicator at regular intervals along the inner contour, the middle section and the outer contour. The calculations have established the optimal angle of inclination of the blade β in various sections, which corresponds to 7° for the inner contour, 10.2° for the middle section and 13.5° for the outer contour. The regression analysis of the measurement results provides an opportunity to calculate the optimal location of the blades, which will ensure a close to uniform distribution of contact stresses on the wear surface.

Key words: grain crusher, regression model of wear, contact stresses, destruction of the blade wheel, crusher service life, optimization of the drum design, coefficient of normal contact stresses.

For citation: Dorodov P. V., Petrov V. A., Toropov L. A. Regression model of wear of the working surface of blades of the DKR series grain crusher drum. *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2024; 3(79): 106-113. (In Russ.). https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_3_106-113.

Authors:

P. V. Dorodov¹✉, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor,
<https://orcid.org/0000-0003-1478-5876>;

V. A. Petrov², Senior Lecturer;

L. A. Toropov³, Director

^{1,2}Udmurt State Agricultural University, 9 Studencheskaya St., Izhevsk, Russia, 426069

³OOO PK Soyuz, 142 Lenina St., Izhevsk, Russia, 426075

¹pvd80@mail.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare that they have no conflicts of interest.

Статья поступила в редакцию 25.10.2023; одобрена после рецензирования 09.07.2024; принята к публикации 06.09.2024.

The article was submitted 25.10.2023; approved after reviewing 09.07.2024; accepted for publication 06.09.2024.