

ВЛИЯНИЕ УПРУГОГО ДЕМПИРУЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА  
НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОДШИПНИКОВОГО УЗЛАINFLUENCE OF ELASTIC DAMPING MEMBER  
ON THE TEMPERATURE REGIME OF A BEARING ASSEMBLY

**Ключевые слова:** подшипниковый узел, ресурс, температура нагрева, упругий демпфирующий элемент, способ ремонта.

Поддержание трактора и автомобиля в работоспособном состоянии – дело нелегкое, и для этого требуются надлежащая организация и технология ремонтных воздействий. Правильным использованием современных достижений техники при применении прогрессивных способов восстановления автотракторных деталей можно снизить до практического нуля потери работоспособности машины. Авторы исследования посвятили свой труд доказательству целесообразности применения дополнительных промежуточных элементов в подшипниковых узлах. Использование упругого демпфирующего элемента в подшипниковом узле позволяет эксплуатировать подшипники на режимах с меньшими потерями на трение и износ. Данный факт подтвержден лабораторными испытаниями подшипниковых узлов с применением разработанного упругого демпфирующего элемента (УДЭ) по ранее запатентованному способу ремонта. При этом происходит снижение температуры нагрева подшипников. Зафиксировано снижение температуры нагрева на режимах испытаний, при нагрузках, приближенных к реальным условиям эксплуатации, на примере трактора ХТЗ-150К-09. Отмечается работа подшипникового узла с УДЭ при более низкой температуре, в среднем на 24°C ниже. Установлено, что разница температуры нагрева подшипников узла без УДЭ, при увеличении частоты вращения вала установки и соответствующих значениях осевой и радиальной нагрузок, в среднем составляет 30-35°C, в то время как у подшипников узла с УДЭ такая разница 24-28°C. Эксперименты позволили определить, что у подшипников узла без УДЭ с увеличением осевой нагрузки происходит последовательное нарастание температуры, а у подшипников узла с УДЭ с увеличением нагрузки температура повышается, однако темп ее роста в диапазоне осевых нагрузок 2500-3500 Н снижается, т.е. происходит стабилизация. Добиваясь стабилизации процесса по параметру темпе-

ратуры элементов узла, можем говорить о стабильности происходящих процессов трения и износа.

**Keywords:** bearing assembly, service life, heating temperature, elastic damping member, repair method.

Maintaining tractors and trucks in working condition is not an easy task and requires proper organization and technology of repair actions. The correct use of modern technological advances in the application of progressive methods of restoring automotive parts may reduce the loss of machinery performance to almost zero. The research goal was to prove the feasibility of using additional intermediate members in bearing assemblies. In particular, the use of an elastic damping member in a bearing assembly allows the bearings to be operated in modes with lower friction and wear losses. This fact is confirmed by laboratory tests of bearing assemblies using the developed elastic damping member (EDM) according to a previously patented repair method; in this case the heating temperature of the bearings decreases. A decrease in the heating temperature was recorded in test modes under loads close to real operating conditions using the example of the KhTZ-150K-09 tractor. The operation of a bearing unit with EDM at a lower temperature, on average by 24°C lower, is found. It is determined that the difference in heating temperature of bearings of the assembly without EDM with increased rotational speed of the shaft of the installation and the corresponding values of axial and radial loads averages 30-35°C, while for bearings of an assembly with EDM, such difference is 24-28°C. The experiments also made it possible to determine that for bearings of an assembly without EDM, with increase in axial load, a consistent increase in temperature occurs, and for bearings of an assembly with EDM, with an increase in load, the temperature rises, however, its growth rate in the range of axial loads 2500-3500 N decreases, that is, stabilization occurs. By achieving stabilization of the process in terms of the temperature parameter of the assembly members, we may talk about the stability of the ongoing friction and wear processes.

**Псюкало Сергей Петрович**, к.т.н., доцент, Азово-Черноморский инженерный институт, ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, Ростовская обл., Российская Федерация, e-mail: sergei\_psyukalo44@mail.ru.

**Луханин Владимир Александрович**, к.т.н., доцент, Азово-Черноморский инженерный институт, ФГБОУ ВО Донской ГАУ, г. Зерноград, Ростовская обл., Российская Федерация, e-mail: luhanin\_vladimir@mail.ru.

**Psyukalo Sergey Petrovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Azov-Black Sea Engineering Institute, Branch, Don State Agricultural University, Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, e-mail: sergei\_psyukalo44@mail.ru.

**Lukhanin Vladimir Aleksandrovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Azov-Black Sea Engineering Institute, Branch, Don State Agricultural University, Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, e-mail: luhanin\_vladimir@mail.ru.

### Введение

Основными эксплуатационными показателями качества деталей являются их износостойкость и динамическая прочность. Вскрытие основных процессов, происходящих при трении и износе, создало возможности установить причинные связи, объяснить процессы трения и износа, квалифицировать их и разрабатывать обоснованные методы управления этими процессами в машинах.

В большом количестве работ [1-8], посвященных изучению процессов трения и изнашивания металлов, их влиянию на ресурс машины, к сожалению, недостаточно внимания уделено исследованиям процессов трения и изнашивания деталей подшипниковых узлов конкретных машин. Не говоря о теоретических исследованиях, почти совершенно не связанных с реальными условиями работы, в экспериментальных работах изучению износа деталей машин также уделяется очень мало внимания. В тех немногочисленных работах, где все же изучается износ в машинах, методы исследования основаны на измерении, главным образом, изменений в размерах, что не позволяет изучить сущность процессов изнашивания, определяющих ресурс машины.

Ресурс любого узла машины, в котором установлены подшипники качения, определяется долговечностью непосредственно самих элементов трения. Нами предложено решение, которое реализуется в использовании упругого демпфирующего элемента (УДЭ) как промежуточного связующего звена между подшипником и крышкой подшипникового узла [9]. Данное технологическое мероприятие позволяет влиять на ресурс узла посредством изменения распределения нагрузки на тела качения подшипников, снижению моментов трения, интенсивности процессов трения, изнашивания и тепловыделения [7]. В результате исследований явлений трения и износа в поверхностных слоях металлов, проведенных с помощью металловедческого анализа, было установлено, что в широком диапазоне возможных условий трения в разных масштабах

и с различной интенсивностью происходят вполне определенные процессы в материале трущихся поверхностей [11].

Трение металлов в зависимости от внешних воздействий, среды и свойств трущихся поверхностей сопровождается механическими, химическими и теплофизическими процессами. Эти процессы происходят с четким преобладанием одного из них, с весьма явными качественными и количественными проявлениями. Установлено, что изменения в условиях трения могут вызывать переход от одного процесса к другому, отличному качественно и влекущему за собой изменения скорости износа в десятки и сотни раз.

**Цель** работы – установить эффективность применения упругого демпфирующего элемента (УДЭ) в подшипниковых узлах, путем определения их температурного режима работы.

### Объекты и методы

За объект исследований приняли шариковые радиальные однорядные подшипники качения № 308, новые и с наработкой в промежуточной опоре ВОМ трактора ХТЗ-150К-09.

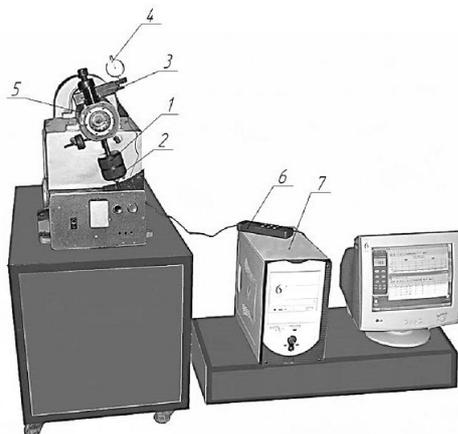
Эксперименты выполнили согласно требованиям [12] на лабораторной установке ДМ-28М (рис. 1). При этом производили контроль температуры нагрева подшипников, для этого использовали измеритель температуры модели CENTER 303 с погрешностью  $\pm(0,1\%+0,7^{\circ}\text{C})$ , показания фиксировались компьютером.

Поскольку наиболее приближенными к реальным условиям эксплуатации трактора являются режимы: частота вращения вала установки 980-1880 об/мин.; осевая нагрузка – 1000-3500 Н, радиальная нагрузка – 2500 Н, то варьировали данными факторами.

Длительность опытов составляла 2 ч, так как за такое время в подшипниковом узле устанавливалась рабочая температура. При проведении экспериментов температура окружающей среды не превышала  $20^{\circ}\text{C}$ . Обработку полученных результатов выполняли по общепринятым методикам.

### Экспериментальная часть

Проводили сравнительные испытания узла с новыми подшипниками и узла с подшипниками с наработкой (радиальный зазор  $g_r = 0,2$  мм) в сочетании с УДЭ. Получили зависимости нагрева подшипников при различных частоте вращения, нагрузке и времени работы установки (рис. 2 а, б). На рисунках 3, 4 наглядно графически представлен температурный режим работы при наиболее характерной для подшипников промежуточной опоры ВОМ трактора частоте вращения 1880 об/мин. и осевых нагрузках  $F_a = 1000-3500$  Н. Значение радиальной нагрузки было постоянным  $F_r = 2500$  Н, так как в условиях эксплуатации практически не меняется.



**Рис. 1. Общий вид лабораторной установки ДМ-28М с компьютерным комплексом:**  
 1 – корпус; 2 – маятник; 3 – динамометрическая пружина № 553; 4 – индикаторная головка; 5 – испытательная головка с механизмами нагружения; 6 – измеритель температуры; 7 – компьютер

### Результаты и обсуждение

Установили значительное отличие в изменении температуры подшипниковых узлов при применении УДЭ. Без УДЭ происходит более интенсивный нагрев и на протяжении всех опытов их температура выше. Помимо прочего отличается и время наступления стабилизации температуры (рис. 2 а, б).

Так, при частоте вращения вала лабораторной установки 980 об/мин. температура нагрева подшипников узла составляет: 63°C

( $F_r = 2500$  Н,  $F_a = 1000$  Н) и 75°C ( $F_r = 2500$  Н,  $F_a = 3500$  Н) – без применения УДЭ; 53°C ( $F_r = 2500$  Н,  $F_a = 1000$  Н) и 58°C ( $F_r = 2500$  Н,  $F_a = 3500$  Н) – с использованием УДЭ.

Таким образом, подтверждается явно различный характер работы испытываемых подшипников и узла в целом, так как разница в нагреве на различных режимах составляет 10 и 17°C соответственно.

В обоих случаях температура стабилизировалась: в узле с УДЭ – на 90-й мин., без УДЭ – на 120-й мин. Исключением являлся режим при  $F_r = 2500$  Н,  $F_a = 3500$  Н – подшипниковый узел без УДЭ. Наиболее интенсивно нагрев происходил первые 30 мин. работы.

На рисунке 2б приведены кривые роста температуры подшипников в зависимости от времени работы узла, при частоте вращения 1880 об/мин. в аналогичных с предшествующими экспериментами режимах. Характер полученных графиков при 1880 об/мин. идентичен с графиками при частоте 980 об/мин.

Разница заключается в том, что по завершении опытов температура нагрева составила 93°C ( $F_r = 2500$  Н,  $F_a = 1000$  Н) и 110°C ( $F_r = 2500$  Н,  $F_a = 3500$  Н), в отсутствие УДЭ стабилизации при этом не наблюдалось. С применением УДЭ 77 и 86°C соответственно и в дальнейшем на 90-95-й мин. температура стабилизировалась. Таким образом, установлена существенная разница – 16 и 24°C при разных нагрузках.

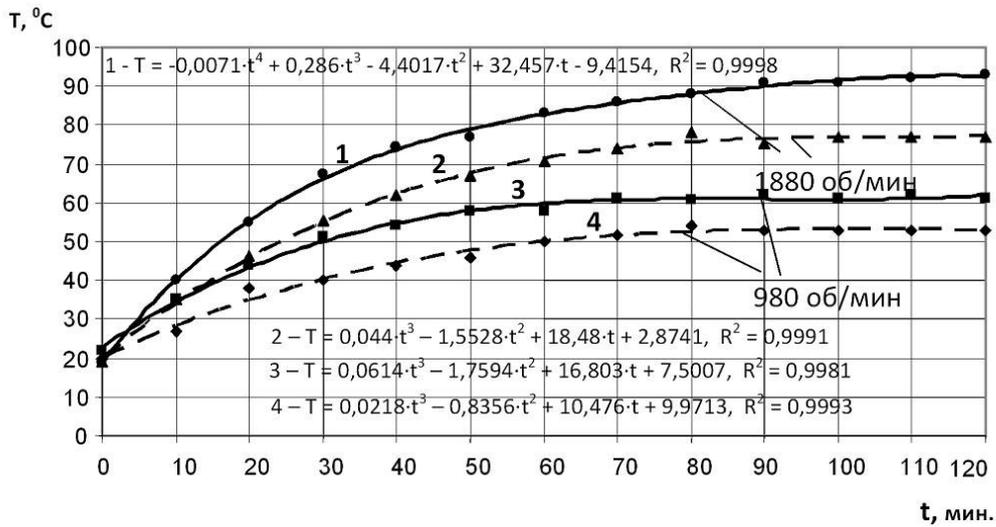
Также можно заключить, что при увеличении частоты вращения подшипников разница температуры их нагрева, узел без УДЭ, в среднем составляет 30-35°C при соответствующих значениях нагрузки, в то время как у подшипников узла с УДЭ такая разница 24-28°C.

Мы пришли к выводу, что процесс тепловыделения тесно связан с особенностями процессов трения и изнашивания. Теорией и практикой установлено, что процесс износа тел при трении

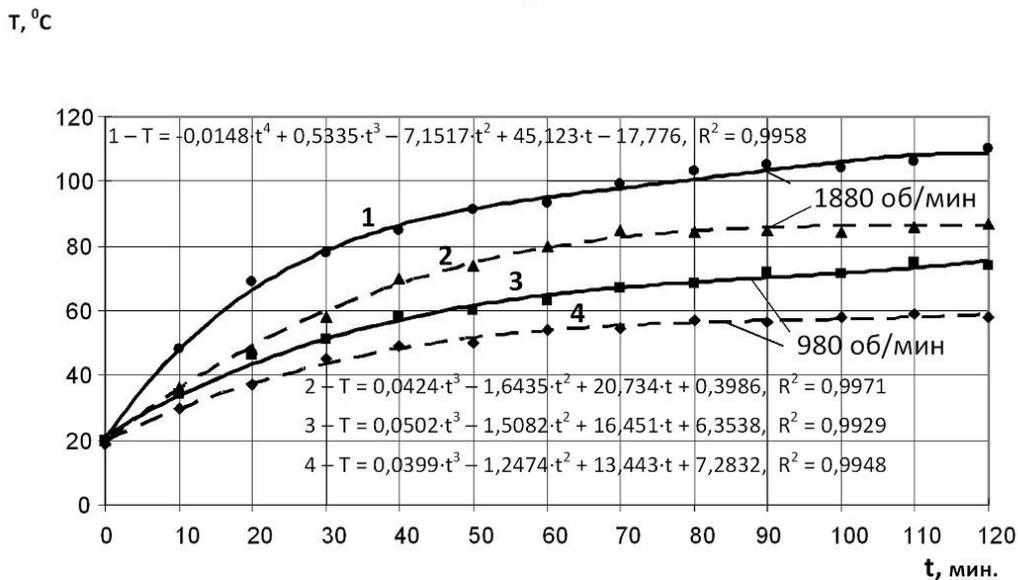
чрезвычайно сложен и зависит от большого числа факторов. Уже небольшие изменения в условиях износа вносят заметные, а часто весьма значительные изменения в величину и характер износа, хотя износ и связан с основными свойствами самих материалов и с их состоянием, но все же само явление стоит особо. По этой причине износ нельзя заранее вычислить, его нужно рассматривать как самостоя-

тельную динамическую характеристику и изучать непосредственными опытами.

Характер кривых показывает, что наблюдается последовательное нарастание температуры при увеличении осевой нагрузки, тогда как в узле с УДЭ темп ее роста при  $F_a = 2500-3500$  Н снижается, то есть она стабилизируется (рис. 3, 4).



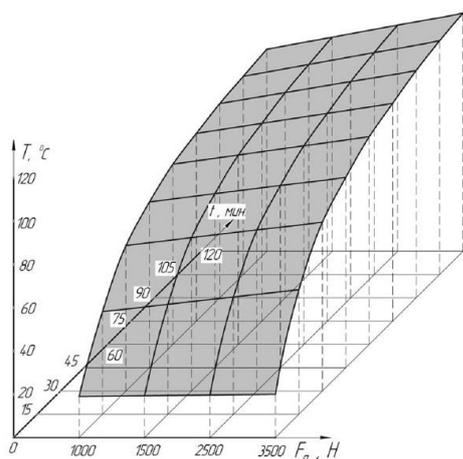
а



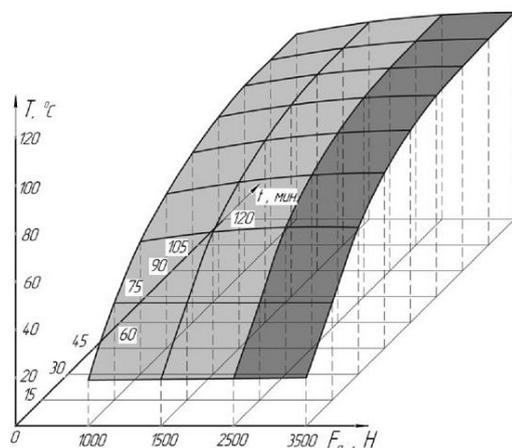
б

- — подшипниковый узел без УДЭ;
- - - — подшипниковый узел с УДЭ.

**Рис. 2. Зависимость температуры нагрева подшипников от времени работы узла при частоте вращения вала установки 980 об/мин., 1880 об/мин. и нагрузках: а -  $F_r = 2500$  Н,  $F_a = 1000$  Н; б -  $F_r = 2500$  Н,  $F_a = 3500$  Н**



**Рис. 3. Диаграмма зависимости роста температуры подшипников узла без УДЭ от осевой нагрузки и времени работы (радиальная нагрузка  $F_r = 2500$  Н, частота вращения 1880 об/мин.)**



**Рис. 4. Диаграмма зависимости роста температуры подшипников узла с УДЭ от осевой нагрузки и времени работы (радиальная нагрузка  $F_r = 2500$  Н, частота вращения 1880 об/мин.)**

### Заключение

Экспериментально установлена эффективность применения УДЭ в подшипниковом узле при определении температурного режима работы на лабораторной установке, что подтверждается следующим:

- при режиме испытаний, близком к реальным условиям эксплуатации,  $n = 1880$  об/мин.,  $F_r = 2500$  Н,  $F_a = 3500$  Н, температура нагрева подшипников узла без УДЭ, выше, чем подшипников узла с УДЭ, в среднем на  $24^\circ\text{C}$ ;

- характер кривых нарастания температуры свидетельствует о постоянном возрастании

температуры подшипников узла без УДЭ и стабилизации её в узле с УДЭ при значении  $86^\circ\text{C}$ .

### Библиографический список

1. Повышение надежности рабочих органов почвообрабатывающих машин / А. П. Горбатюк, В. А. Таранов, С. П. Псюкало, В. А. Глобин. – Текст: непосредственный // Активная честолюбивая интеллектуальная молодежь сельскому хозяйству. – 2019. – № 2 (7). – С. 32-35.

2. Кочергин, А. С. Восстановление и упрочнение рабочих органов сельскохозяйственных орудий / А. С. Кочергин, С. П. Псюкало. – Текст: непосредственный // Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации. – 2021. – № 5. – С. 31-34.

3. Чунаков, С. Г. Восстановление поверхностей посадок узлов трения нанесением покрытий / С. Г. Чунаков, С. П. Псюкало, Д. А. Соловьева. – Текст: непосредственный // Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 74-4. – С. 82-85.

4. Мелихов, М. Б. Ресурсосберегающая технология восстановления плунжерных пар агрегатов системы питания дизельных двигателей / М. Б. Мелихов, Л. А. Нагорский, С. П. Псюкало. – Текст: непосредственный // Вопросы эксплуатации и технического сервиса энергетических установок, транспортных и транспортно-технологических машин и комплексов: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых исследователей. – 2021. – С. 55-56.

5. Псюкало, С. П. Исследование работы звена карданного привода ВОМ трактора ХТЗ-150К-09 / С. П. Псюкало, В. А. Полуян, В. А. Луханин. – Текст: непосредственный // Технический сервис машин. – 2022. – № 2 (147). – С. 43-50.

6. Голиков, Д. Е. Добавление серпентинита в смазку узлов трения как многофакторная защита от износа / Д. Е. Голиков, С. П. Псюкало. – Текст: непосредственный // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 84-1. – С. 89-92.

7. Серегин, А. А. Повышение надежности отдельных узлов, передач и агрегатов машин сельскохозяйственного назначения: монография / А. А. Серегин, С. П. Псюкало, В. А. Луханин. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет». – 2022. – 211 с. – ISBN 978-5-91833-207-8. – Текст: непосредственный.

8. Белоусова, Л. Н. Анализ исследований по восстановлению коленчатых валов ДВС / Л. Н. Белоусова, С. П. Псюкало. – Текст: непосредственный // Вопросы эксплуатации и технического сервиса энергетических установок, транспортных и транспортно-технологических машин и комплексов: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых исследователей. – 2022. – С. 118-119.

9. Патент № 2276000 Российская Федерация, МПК7 В23Р 6/00. Способ ремонта подшипникового узла / Псюкало С. П., Серегин А. А., Калинин А. А.; заявитель и патентообладатель Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия. – № 2004133990/02; заявл. 22.11.04; опубл. 10.05.06, Бюл. №13. – 3 с.: ил. – Текст: непосредственный.

10. Seregin, A.A., Nikitchenko, S.L., Kurochkin, V.N., et al. (2018). Hinged aggregate for technical maintenance of machines: Modeling, testing and conditions of application. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 32, 3807–3815. <https://doi.org/10.1007/s12206-018-0733-4>.

11. Серегин, А. А. Диагностирование подшипников качения со структурно-энергетических позиций / А. А. Серегин, В. А. Скляр, С. П. Псюкало. – Текст: непосредственный // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 108. – С. 100-106.

12. Режимы испытаний подшипников: РДМ 37.006.006-84. – Текст: непосредственный.

### References

1. Gorbatiuk A.P., Taranov V.A., Psiukalo S.P., Globin V.A. Povyshenie nadezhnosti rabochikh organov pochvoobrabatyvaiushchikh mashin // Aktivnaia chestoliubivaia intellektualnaia molodezh selskomu khoziaistvu. – 2019. – No. 2 (7). – S. 32-35.

2. Kochergin A.S., Psiukalo S.P. Vostanovlenie i uprochnenie rabochikh organov selskokhoziaistvennykh orudii // Molodaia nauka agrarnogo Dona: traditsii, opyt, innovatsii. – 2021. – No. 5. – S. 31-34.

3. Chunakov S.G., Psiukalo S.P., Soloveva D.A. Vosstanovlenie poverkhnostei posadok uzlov treniia naneseniem pokrytii // Tendentsii razvitiia nauki i obrazovaniia. – 2021. – No. 74-4. – S. 82-85.

4. Melikhov M.B., Nagorskii L.A., Psiukalo S.P. Resursosberegaiushchaia tekhnologiya voss-

tanovleniia plunzhemykh par agregatov sistemy pitaniia dizelnykh dvigatelei // Voprosy ekspluatatsii i tekhnicheskogo servisa energeticheskikh ustanovok, transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i molodykh issledovatelei. – 2021. – S. 55-56.

5. Psiukalo S.P., Poluian V.A., Lukhanin V.A. Issledovanie raboty zvena kardannogo privoda VOM traktora KhTZ-150K-09 // Tekhnicheskii servis mashin. -2022. – No. 2 (147). – S. 43-50.

6. Golikov D.E., Psiukalo S.P. Dobavlenie serpentinita v smazku uzlov treniia kak mnogofaktornaia zashchita ot iznosa // Tendentsii razvitiia nauki i obrazovaniia. – 2022. – No. 84-1. – S. 89-92.

7. Seregin A.A., Psiukalo S.P., Lukhanin V.A. Povyshenie nadezhnosti otdelnykh uzlov, peredach i agregatov mashin selskokhoziaistvennogo naznachenii: monografiia. – Zernograd: Azovo-Chernomorskii inzhenernyi institut FGBOU VO «Donskoi gosudarstvennyi agrarnyi universitet», 2022. – 211 s.

8. Belousova L.N., Psiukalo S.P. Analiz issledovaniia po vosstanovleniiu kolenchatykh valov DVS // Voprosy ekspluatatsii i tekhnicheskogo servisa energeticheskikh ustanovok, transportnykh i transportno-tekhnologicheskikh mashin i kompleksov. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i molodykh issledovatelei. – 2022. – S. 118-119.

9. Patent No. 2276000 Rossiiskaia Federatsiia, MPK7 B23P 6/00. Sposob remonta podshipnikovogo uzla / Psiukalo S.P., Seregin A.A., Kalinin A.A.; zaiavitel i patentoobladatel Azovo-Chernomorskaiia gosudarstvennaia agroinzhenernaia akademiia. – No. 2004133990/02; zaiavl. 22.11.04; opubl. 10.05.06, Biul. No. 13. – 3 s.: il.

10. Seregin, A.A., Nikitchenko, S.L., Kurochkin, V.N., et al. (2018). Hinged aggregate for technical maintenance of machines: Modeling, testing and conditions of application. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 32, 3807–3815. <https://doi.org/10.1007/s12206-018-0733-4>.

11. Seregin A.A., Skliar V.A., Psiukalo S.P. Diagnostirovanie podshipnikov kacheniiia so strukturno-energeticheskikh pozitsii // Trudy GOSNITI. – 2011. – Т. 108. – С. 100-106.

12. Rezhimy ispytaniia podshipnikov: RDM 37.006.006–84.

