

УДК 631.1

А. Б. Невзорова¹, Ю. В. Савельев²¹Белорусский государственный университет транспорта²Специализированная детско-юношеская школа олимпийского резерва № 7 г. Гомеля**РАБОТОСПОСОБНОСТЬ СТУПИЦЫ ДИСКОВОГО
ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО АГРЕГАТА
С ПОДШИПНИКОМ ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Работоспособность и долговечность почвообрабатывающего навесного оборудования во многом определяется соблюдением требований по организации ухода и надзора за состоянием подшипниковых узлов этих агрегатов при их эксплуатации в условиях абразивно-агрессивных сред. Одним из решений восстановления работоспособности узла трения является усовершенствование конструкции с использованием вкладышей из модифицированной древесины. Проведен сравнительный конструкционный, технологический и эксплуатационный анализ работоспособности двух типов ступиц почвообрабатывающего агрегата АДУ-6 АКД: базового – с роликовыми радиально-упорными подшипниками качения в узле трения и модернизированного – с подшипниками скольжения из модифицированной древесины торцево-прессового деформирования. В качестве исследовательской задачи авторами определена оценка физического состояния узлов трения, соответствующая требуемому уровню надежности и долговечности при проведении механической обработки почвы. На основе результатов полевых испытаний установлено, что ресурс модернизированной ступицы в 5,1 раза больше базовой. Показано, что предложенный узел технически упрощает конструкцию ступицы, ведет к снижению затрат на обслуживание в период эксплуатации, обладает минимальным коэффициентом трения и не требует дополнительного подвода смазочного материала. Подсчитана экономическая эффективность от перспективного внедрения модернизированных ступиц в узлы трения комбинированных почвообрабатывающих агрегатов сельскохозяйственных организаций Гомельской области.

Ключевые слова: узел трения, модифицированная древесина, подшипник скольжения самосмазывающийся, работоспособность.

Для цитирования: Невзорова А. Б., Савельев Ю. В. Работоспособность ступицы дискового почвообрабатывающего агрегата с подшипником из модифицированной древесины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 2 (258). С. 155–161.

A. B. Nevzorova¹, Yu. V. Saveliev²¹Belarusian State University of Transport²Specialized Children's and Youth School of the Olympic Reserve no. 7 of Gomel**DISK HUB PERFORMANCE TILLAGE UNIT
WITH MODIFIED WOODEN BEARING**

The serviceability and durability of tillage attachments is largely determined by compliance with the requirements for the organization of care and supervision of the condition of the bearing catches of these units during their operation in abrasive-aggressive environments. One of the solutions to restore the operability of the friction unit is the improvement of the structure using inserts made of modified wood. A comparative structural, technological and operational analysis of the working capacity of two types of hubs of the ADU-6 AKD tillage unit was carried out: the basic one – with roller radial thrust rolling bearings in the friction unit, and the upgraded one – with sliding bearings made of modified end-press deformation wood. As a research task, the authors determined the assessment of the physical condition of the friction units to meet the required level of reliability and durability during mechanical tillage. Based on the results of field tests, it was found that the resource of the upgraded hub is 5.1 times greater than the base one. It is shown that the proposed assembly technically simplifies the design of the hub, reduces maintenance costs during operation, has a minimum coefficient of friction and does not require additional supply of lubricant. The economic efficiency of the prospective introduction of modernized hubs into the friction units of combined tillage aggregates of agricultural organizations of the Gomel region is calculated.

Key words: friction unit, modified wood, self-lubricating sliding bearing, serviceability.

For citation: Nevzorova A. B., Saveliev Yu. V. Disk hub performance tillage unit with modified wooden bearing. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2022, no. 2 (258), pp. 155–161 (In Russian).

Введение. В лесном и сельском хозяйстве для сплошной механической обработки почвы под посадки широко используется почвообрабатывающее навесное оборудование [1, 2]. Для культивации обычно используют зубовые и дисковые бороны [3]. Работоспособность и долговечность механизма во многом определяется оптимальными конструкционными решениями [4], правильным подбором материалов [5], соблюдением требований по организации ухода и надзора за состоянием подшипниковых узлов этих агрегатов [6]. Подшипники качения (ПК) являются неотъемлемой частью подвижного и передающих соединений. Эффективная эксплуатация подшипников качения предполагает соблюдение определенных правил технической диагностики и ревизии подшипниковых узлов [7].

Подшипниковый узел представляет собой трибосистему, которая термодинамически открыта, т. е. обменивается энергией и массой с окружающей средой [8]. Поэтому узлы трения при работе в абразивно-агрессивной и влажной среде, например при обработке почвы, в результате попадания пыли и абразивных частиц подвергаются ускоренному износу, что и ведет к потере работоспособности всего агрегата. Основные причины поломки подшипников качения – заклинивание или полное разрушение вследствие заклинивания. Это одновременно приводит к износу рабочих органов и корпусных деталей агрегата, в результате чего требуется их ремонт или замена. Для решения данной проблемы необходимо тщательное изучение каждого конкретного случая с проблемными узлами с учетом всех влияющих на него внешних и внутренних факторов, и разработка на этой основе рекомендаций, которые позволят увеличить их ресурс. И на стадии поиска решения совершенствования узла трения, например ступицы дискового почвообрабатывающего агрегата, стоит вопрос об использовании широко известной и доступной технологии замены ПК на подшипник скольжения (ПС) с вкладышем из природного композиционного материала.

Древесина лиственных пород после ее пресования и модифицирования [9, 10] еще с прошлого столетия давно испытывалась и применялась в узлах трения различных машин и механизмов [11–14], где зарекомендовала себя как надежный и долговечный антифрикционный материал [15]. Однако в силу активного технологического развития сталелитейной промышленности, лоббирования производителей ПК и их повсеместного применения в узлах трения, ПС на основе природного композита были незаслуженно отодвинуты на второстепенный план. Такие ПС применяются сейчас только ограниченными

партиями предприятиями, которые заинтересованы в повышении надежности и долговечности своего автомобильного парка [16, 17].

Цель данной работы – в очередной раз продемонстрировать преимущества использования самосмазывающихся подшипников скольжения (ПСС) на основе модифицированной древесины торцово-прессового деформирования по сравнению с металлическими роликоподшипниками в узлах трения ступицы дискового почвообрабатывающего агрегата. В результате наблюдается повышение надежности и долговечности универсального комбинированного почвообрабатывающего агрегата за счет создания необслуживаемого самосмазывающегося износостойкого узла трения.

Основная часть. Комбинированный почвообрабатывающий агрегат дисковый универсальный АДУ-6 с 4-рядным расположением рабочих органов на индивидуальных стойках предназначен для основной обработки почвы, а также подготовки ее под посев, уничтожения сорняков и измельчения пожнивных остатков без предварительной вспашки и обработки почвы после уборки толстостебельных пропашных культур. Агрегат используется для поверхностной обработки почвы под зерновые, технические и кормовые культуры. АДУ-6 обеспечивает глубину обработки почвы от 6 до 19 см с выполнением следующих технологических операций: измельчение и заделка растительных остатков предшественника и сорной растительности; крошение крупных комьев земли на мелкие фракции; создание мульчированного слоя при скорости движения агрегата не менее 12 км/ч [2].

По данным Комитета по сельскому хозяйству и продовольствию Гомельского облисполкома (2020–2021 гг.), одним из наиболее проблемных подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники в Гомельской области является ступица АДУ-6. Частый выход из строя приводит к необходимости замены подшипников качения ступицы, которые вследствие попадания внутрь корпуса абразивно-агрессивной среды в виде почвы заклинивают и разрушаются. Также это происходит из-за нарушения технологического регламента по обслуживанию узла и поддержания смазочного режима в нем. Каждая из 56 ступиц агрегата требует ежесменного обслуживания в виде подачи смазки в узел, что по причине большой трудоемкости (надо признать честно) зачастую не выполняется техническим персоналом. Согласно данным предприятий, в среднем за один сезон работы агрегата требуется четыре раза менять ПК, что приводит не только к дополнительным финансовым затратам организаций, но и к удорожанию продукции. Кроме того, нарушаются сроки выполнения почвовозделывающих работ вследствие простоя агрегата в ремонте.

Повышение долговечности любого узла может быть реализовано применением следующих методов: конструкционного, технологического и эксплуатационного [18]. Данные методы могут использоваться как по отдельности, так и совместно. Для выбора наиболее подходящего метода необходимо тщательное обследование вышедшей из строя конструкции узла, а также условий и режимов его работы.

Базовый вариант.

Конструкционный анализ. Конструкция ступицы АДУ-6 АКД с установленными роликоподшипниками 7508 и 7509 приведена на рис. 1.

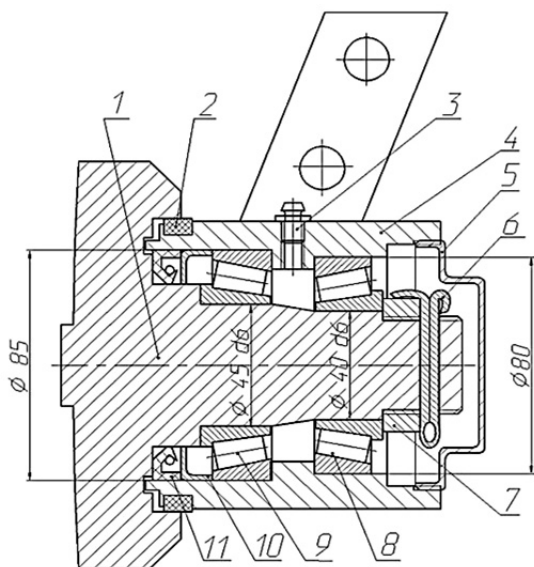


Рис. 1. Ступица АДУ-6 АКД с подшипниками качения:

- 1 – вал; 2 – войлочное уплотнение; 3 – смазочный ниппель; 4 – корпус; 5 – крышка; 6 – шплинт; 7 – коронная гайка; 8, 9 – соответственно роликоподшипники 7508 и 7509; 10 – крышка; 11 – манжета

Для защиты узла от попадания внутрь абразивных частиц почвы в конструкции применены следующие детали: войлочная прокладка 2, манжета 11 и две крышки 5 и 10. Для дополнительной защиты соединение вала 1 и корпуса 4 выполнено по лабиринтной схеме.

Технологический анализ. С целью предотвращения попадания абразива в зону трения роликового радиально-упорного подшипника с коническими роликами, узел полностью заполняется смазкой. Эти меры позволяют обеспечить безотказную обработку площади не более 1500 га. При этом каждую смену в корпус должно вноситься дополнительное количество смазки в установленном объеме, прописанном в технических требованиях. В случае недостатка или отсутствия смазки внутри узла его ресурс не превышает 300–400 га.

Эксплуатационный анализ. Рассмотрим повреждения рабочей ступицы после разборки и причину их возникновения (рис. 2).

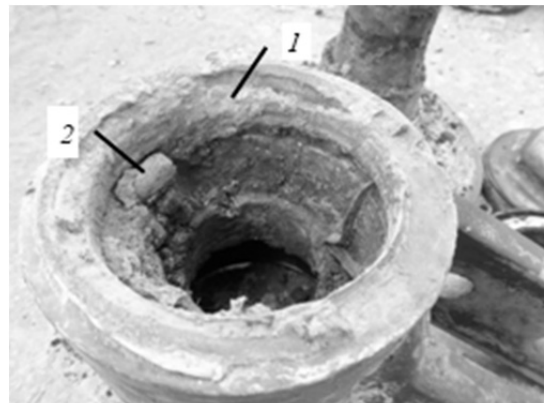


Рис. 2. Внешний вид ступицы после эксплуатации: 1 – абразив; 2 – ролики подшипника

По локализации это внутренняя поверхность кольца роликоподшипника с прилипшими абразивными частицами почвы, которые, несмотря на имеющуюся защиту, проникают внутрь ступицы. Высокая локализованная теплота приводит к течению металла в подшипниках, что вызывает изменения исходной геометрии подшипника и его материала. Это ведет к перекосу роликов, разрушению сепаратора, перемещению металла и полному заклиниванию подшипника.

По визуальным признакам видно, что подшипник 7509 полностью разрушен и не может выполнять функцию трибосопряжения. Наблюдаемая картина говорит о том, что механизм абразивного износа в этом случае является доминирующим.

Причина – несоответствующее воздействие по нагрузке на сепаратор, в результате которой ролики изменили ориентацию с вертикальной на радиальную относительно вращающегося вала. Дорожка качения отделена от наружного кольца. Сильно перегруженный конический роликовый подшипник привел к преждевременному и сильному абразивному и усталостному износу роликов. Нагрузка на них превысила допустимую, что стало причиной выкрашивания металла с поверхности роликов.

Таким образом, применение в конструкции ступиц АДУ-6 АКД радиально-упорных конических подшипников легкой широкой серии 7508 и 7509 не обеспечивает требуемого уровня надежности и долговечности при работе в абразивно-агрессивной среде, которой является пахотная земля.

Предлагаемое решение.

Конструкционный анализ. Для повышения срока службы и улучшения функциональных свойств узла трения ступицы агрегата была предложена и апробирована усовершенствованная

конструкция ступицы АДУ-6 АКД (рис. 3) с установкой в посадочных местах самосмазывающихся подшипников (ПСС) на основе древесины торцово-прессового деформирования, пропитанной полимерным смазочным материалом [19].

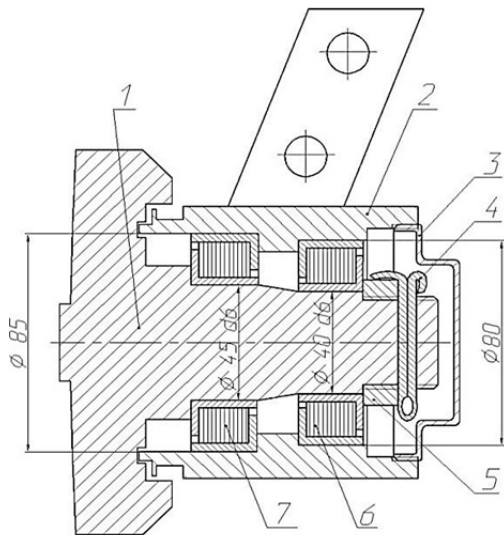


Рис. 3. Схема ступицы после модернизации:
1 – вал; 2 – корпус; 3 – крышка; 4 – шплинт;
5 – коронная гайка; 6 – подшипник ПСС 7508;
7 – подшипник ПСС 7509

ПСС полностью взаимозаменяемы с подшипниками качения 7508 и 7509. Конструктивные изменения узла заключаются в отсутствии уплотнений, смазочного ниппеля, крышки и манжеты (защитных уплотнений). Одно из достоинств – отсутствие операции ежесменной подачи смазки в узел, так как вкладыш ПСС обладает свойством выделения смазки в течение всего периода эксплуатации [20] и поэтому не требует постоянного обслуживания в отличие от ПК.

Внешний вид ступицы после установки в нее ПСС представлен на рис. 4.

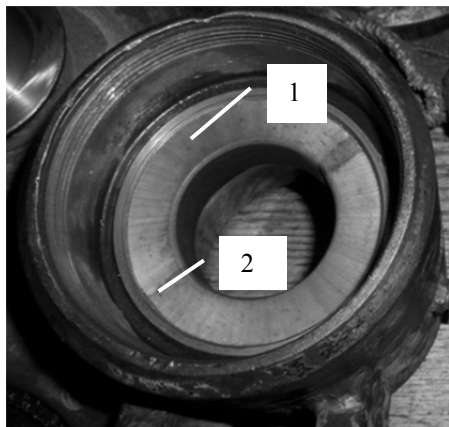


Рис. 4. Внешний вид ступицы после модернизации:
1 – внешнее кольцо; 2 – вкладыш из модифицированной древесины ТПД

Технологический анализ. Для изготовления вкладыша подшипника использовалась известная технология торцово-прессового деформирования древесных заготовок [19] со следующими операциями: механотрансформация прямоугольной заготовки в цилиндрическую форму из древесины березы нормализованной влажности (12%); перепрессовка через конус для получения заданной степени прессования по внутреннему диаметру вкладыша (48–50%); модифицирование смазочным материалом в установке для высокотемпературной пропитки ($135 \pm 5^\circ\text{C}$) для получения изменяемой степени пропитки от древесного вкладыша – от 0,12 по внутренней до 0,40 по внешней стороне; устранение технологического зазора в стыке сторон заготовки конструкторским компенсатором; механическая обработка путем расточки древесного вкладыша по внутреннему диаметру и боковой торцовой поверхности. Таким образом, технологическая схема изготовления вкладышей включает в себя оптимальное число операций и необходимый минимум технологических процессов, при выполнении которых потребление энергии сведено к минимуму.

Эксплуатационный анализ.

Для проведения полевых испытаний комбинированного почвообрабатывающего агрегата дискового универсального АДУ-6 (рис. 5) были изготовлены и установлены 56 модернизированных ступиц с ПСС.



Рис. 5. Агрегат АДУ-6 АКД

Эксплуатация модернизированного агрегата АДУ-6 АКД с подшипниками ПСС проходила одновременно с базовой моделью (с роликоподшипниками) в Гомельской области на дерново-подзолистой пахотной земле. Рабочая скорость трактора – 10–11 км/ч, глубина хода диска – 7–15 см. Испытания проводились с учетом характеристики условий работы в агрессивно-абразивно-влажной окружающей воздушно-почвенной среде (табл. 1) в течение весенне-осенних полевых работ 2014–2016 гг.

Таблица 1
Характеристика воздуха и почвы

Показатель	Значение
Влажность воздуха, %	40–90
Влажность почвы, %	15–35
Температура воздуха, °С	12–25
Температура почвы, °С	12–20
Плотность грунта, кг/м ³	1400–1700
Плотность частиц грунта, кг/м ³	2690
Содержание песчаных частиц (2–0,05 мм), % по массе	≥ 50

Анализ данных состояния подшипниковых узлов после проведения полевых испытаний приведен в табл. 2. Установлено, что ресурс базовых ступиц в 5,1 раза меньше ресурса ступицы с ПСС. Главным отличием является удовлетворительное состояние внутренней поверхности древесного вкладыша и минимальный износ (0,15 мм) (рис. 6). На протяжении всего периода полевых испытаний подшипниковый узел не требовал обслуживания и введения дополнительной смазки в контактную зону.

Таблица 2
Результаты полевых испытаний

Наименование показателя	Подшипниковый узел ступицы АДУ-6	
	базовый	модернизированный
Наработка, га	1400	7200
Среднее время работы, га/ч	3,7–4,1	
Среднее время наработки до замены, ч	360	1850
Подача смазки	Требуется ежедневно	Не требуется, самосмазка
Предельная нагрузка, МПа·м/с	3	3
Коэффициент трения	0,15	0,09
Состояние поверхности трения подшипника	Катастрофическое	Удовлетворительное



Рис. 6. Ступица АДУ-6 с ПСС после испытания

Согласно данным статистического ежегодника Гомельской области за 2021 г. по п. 17.2 «Материально-техническая база сельского хозяйства», в сельскохозяйственных организациях на конец года было в наличии 461 комбинированный почвообрабатывающий агрегат.

Экономия материальных и трудовых ресурсов для одной ступицы в год составила по предварительным расчетам 510 руб. Потенциальная экономия с одного агрегата АДУ-6 АКД при условии оснащения всех 56 ступиц подшипниками ПСС может составить 28 560 руб., а по Гомельской области – 12,9 млн руб.

Закключение. Одним из решений восстановления работоспособности узла трения почвообрабатывающих агрегатов является модернизация его конструкции с использованием подшипников скольжения с вкладышем из природного композита. Сравнительный конструкционный, технологический и эксплуатационный анализ работоспособности двух типов ступиц почвообрабатывающего агрегата АДУ-6 АКД (базового – с роликовыми радиально-упорными подшипниками качения в узле трения и модернизированного – с подшипниками скольжения из модифицированной древесины торцово-прессового деформирования) показал, что предложенный узел технически упрощает конструкцию ступицы, ведет к снижению затрат на обслуживание в период эксплуатации, обладает минимальным коэффициентом трения и не требует дополнительного подвода смазочного материала. Оценка физического состояния модернизированных узлов трения соответствует требуемому уровню надежности и долговечности при проведении механической обработки почвы. На основе результатов полевых испытаний установлено, что ресурс модернизированной ступицы в 5,1 раза больше базовой. Подсчитана экономическая эффективность от перспективного внедрения модернизированных ступиц в узлы трения комбинированных почвообрабатывающих агрегатов сельскохозяйственных организаций Гомельской области.

Таким образом, в очередной раз продемонстрированы реальные результаты преимуществ использования ПСС на основе модифицированной древесины торцово-прессового деформирования по сравнению с металлическими роликоподшипниками в узлах трения ступицы дискового почвообрабатывающего агрегата, работающих в условиях абразивно-агрессивных сред. При этом работоспособность универсального комбинированного почвообрабатывающего агрегата повышается за счет создания неослуживаемого самосмазывающегося износостойкого узла трения ступицы.

Список литературы

1. Жуков А. В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
2. Современные российские технологии почвообработки от компании ООО «БДТ-Агро» // Актуальные агросистемы. 2014. № 2. С. 6–7.
3. Бледных В. В. Устройство, расчет и проектирование почвообрабатывающих орудий. Челябинск: ЧГАА, 2010. 203 с.
4. Борисов Г. А., Колодяжная И. Н., Слепова А. Ш. Повышение надежности сложных технических систем путем применения современных полимерных композиционных материалов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2018. № 2 (24). С. 14–18.
5. Невзорова, А. Б. Аникеева М. А., Врублевская В. И. Эвентуальность работоспособности узла трения скольжения на основе природного композита // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 26–27 апр. 2018 г. Могилев, 2018. С. 92–93.
6. Бобровицкий В. И., Сидоров В. А. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт. Донецк: Юго-Восток, 2011. 238 с.
7. Машины для основной обработки почвы. Минск: БГАТУ, 2009. 76 с.
8. Геккер Ф. Р. Динамическая модель узлов трения, работающих без смазочных материалов // Трение и износ. 1993. № 6. С. 1051–1058.
9. Врублевская В. И., Невзорова А. Б., Врублевский В. Б. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них. Гомель: БелГУТ, 2000. 324 с.
10. Шамаев В. А., Никулина Н. С., Медведев И. Н. Модифицирование древесины. М.: ФЛИНТА, 2013. 448 с.
11. Подшипники скольжения самосмазывающиеся на основе модифицированной древесины (теория, технология и практика) / А. Б. Невзорова [и др.] Гомель: БелГУТ, 2011. 254 с.
12. Модифицирование древесины для создания подшипников скольжения лесопромышленных машин / Г. А. Пилюшина [и др.] // Лесной журнал. 2020. № 5. С. 155–165. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-155-165.
13. Повышение работоспособности древесно-металлических подшипников скольжения лесопромышленных машин / Г. А. Пилюшина [и др.] // Лесной журнал. 2021. № 2. С. 156–168. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-156-168.
14. Врублевский В. Б., Невзорова А. Б., Дашковский В. А. Применение прессованной модифицированной древесины в узлах трения сельскохозяйственной техники // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. 2010. № 2. С. 44–48.
15. Шамаев В. А. Подшипники скольжения из модифицированной древесины // Вестник машиностроения. 2010. № 7. С. 45–49.
16. Аксенов А. А., Малюков С. В. Исследования зависимости триботехнических свойств сильно нагруженных подшипников из модифицированной древесины // Лесотехнический журнал. 2016. № 1. С. 168–184.
17. Буренин В. В. Самосмазывающиеся подшипники скольжения // Приводная техника. 2002. № 6. С. 45–56.
18. Джабборов Н. И., Федькин Д. С. Основы оценки энергоэффективности технологических процессов и технических средств обработки почвы // Молочнохозяйственный вестник. 2014. № 4 (16). С. 76–83.
19. Невзорова А. Б. Теоретические основы механотрансформации древесины. Гомель: БелГУТ, 2003. 160 с.
20. Аникеева М. В. Способ оценки триботехнических характеристик подшипников скольжения из модифицированной прессованной древесины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2020. № 1. С. 193–201.

References

1. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [Theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p. (In Russian).
2. Modern Russian tillage technologies from BDT-Agro LLC. Actual'nyye agrosistemy [Actual agrosystems], 2014, no. 2, pp. 6–7 (In Russian).
3. Blednykh V. V. *Ustroystvo, raschyot i proyektirovaniye pochvoobrabatyvayushchikh orudiy* [Device, calculation and design of tillage tools]. Chelyabinsk, ChGAA Publ., 2010. 203 p. (In Russian).
4. Borisov G. A., Kolodyazhnaya I. N., Slepova A. Sh. Improving the reliability of complex technical systems by using modern polymer composite material. *Izmereniye. Monitoring. Upravleniye. Control'* [Measurement. Monitoring. Management. Control], 2018, no. 2 (24), pp. 14–18 (in Russian).

5. Nevzorova A. B., Anikeeva M. A., Vrublevskaya V. I. Eventuality of operability of sliding friction unit based on natural composite. *Materialy, oborudovaniye i resursosberegayushchiye tekhnologii: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Materials, equipment and resource-saving technologies: materials of the International Scientific and Technical Conference], Mogilev, 2018, pp. 92–93 (In Russian).
6. Bobrovitsky V. I., Sidorov V. A. *Mekhanicheskoye oborudovaniye: tekhnicheskoye obsluzhivaniye i remont* [Mechanical equipment: maintenance and repair]. Donetsk, Yugo-Vostok Publ., 2011. 238 p. (In Russian).
7. *Mashiny dlya osnovnoy obrabotki pochvy* [Machines for basic tillage]. Minsk, BGATU Publ., 2009. 76 p. (In Russian).
8. Gekker F. R. Dynamic model of friction units operating without lubricants. *Treniye i iznos* [Friction and Wear], 1993, no. 6, pp. 1051–1058 (In Russian).
9. Vrublevskaya V. I., Nevzorova A. B., Vrublewskiy V. B. Iznosostoykiye samosmazhivayushchiyesya antifriktsionnyye materialy i uzly treniya iz nikh [Wear-resistant self-lubricating antifriction materials and friction units from them]. Gomel, BelGUT Publ., 2000. 324 p. (In Russian).
10. Shamaev V. A., Nikulina N. S., Medvedev I. N. *Modifitsirovaniye drevesiny* [Wood modification]. Moscow, FLINTA Publ., 2013. 448 p. (In Russian).
11. Nevzorova A. B., Vrublewskiy V. B., Matusevich V. O., Vrublevskaya V. I. *Podshipniki skol'zheniya samosmazhivayushchiyesya na osnove modifitsirovannoy drevesiny (teoriya, tekhnologiya i praktika)* [Self-lubricating plain bearings on the basis of the modified wood (theory, technology and practice)]. Gomel, BelGUT Publ., 2011. 254 p. (In Russian).
12. Pilyushina G. A., Pyrikov P. G., Pamfilov E. A., Danilyuk A. Ya., Kapustin V. V. Modifying wood for creation plain bearings of timber machines. *Forest Magazine*, 2020, no. 5, pp. 155–165. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-155-165 (In Russian).
13. Pilyushina G. A., Pyrikov P. G., Pamfilov E. A., Danilyuk A. Ya., Kapustin V. V. Improving the efficiency of wood-metal sliding bearings of industrial machine *Forest Magazine*, 2021, no. 2, pp. 156–168. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-156-168 (In Russian).
14. Vrublewskiy V. B., Nevzorova A. B., Dashkovskiy V. A. Application of pressed modified wood in friction units of agricultural machinery. *Vestnik Polotskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Polotsk State University], series B: Industry. Applied Science, 2010, no. 2, pp. 44–48 (In Russian).
15. Shamaev V. A. Plain bearings of modified wood. *Vestnik mashinostroyeniya* [Russian Engineering Research], 2010, no. 7, pp. 45–49 (In Russian).
16. Aksenov A. A., Malyukov S. V. Research on the dependency of tribological properties of heavily loaded bearings made of modified wood. *Lesotekhnicheskyy zhurnal* [Forestry Journal], 2016, no. 1, pp. 168–184 (In Russian).
17. Burenin V. V. Self-lubricating plain bearings. *Privodnaya tekhnika* [Drive technology], 2002, no. 6, pp. 45–56 (In Russian).
18. Dzhabborov N. I., Fedkin D. S. Fundamentals of assessing the energy efficiency of technological processes and technical means of tillage. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik* [Dairy Bulletin], 2014, no. 4 (16), pp. 76–83 (In Russian).
19. Nevzorova A. B. *Teoreticheskiye osnovy mekhanotransformatsii drevesiny* [Theoretical foundations of the mechanotransformation of wood]. Gomel, BelGUT Publ., 2003. 160 p. (In Russian).
20. Anikeeva M. V. A method for assessing the tribotechnical characteristics of plain bearings made of modified pressed wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2020, no. 1, pp. 193–201 (In Russian).

Информация об авторах

Невзорова Алла Брониславовна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Водоснабжение, химия и экология». Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь). E-mail: anevzorova@bsut.by

Савельев Юрий Витальевич – магистр технических наук, заместитель директора по основной деятельности. Специализированная детско-юношеская школа олимпийского резерва № 7 г. Гомеля (246042, г. Гомель, ул. Ленинградская, 39а, Республика Беларусь). E-mail: vay86@mail.ru

Information about the authors

Nevzorova Alla Bronislavovna – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department “Water supply, Chemistry and Ecology”. Belarusian state University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: anevzorova@mail.ru

Saveliev Yuriy Vitalievich – Master of Engineering, Deputy Director of the main activity. Specialized Children’s and Youth School of the Olympic Reserve no. 7 of Gomel (39a, Leningradskaya str., 246042, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: vay86@mail.ru

Поступила 04.04.2022