

УДК 621.82

М. В. АНИКЕЕВА¹, Ю. В. САВЕЛЬЕВ²¹Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь²Унитарное предприятие «Гомельвторчермет», Гомель, Беларусь

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ ЩЕБНЕОЧИСТИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ PLASSER & THEURER

Рассматривается самоходная щебнеочистительная машина серии RM-80. В результате анализа отказов ее узлов трения установлено, что наличие большого числа абразивных частиц в засоренном балласте ведет к заклиниванию подшипников качения направляющих роликов и последующему интенсивному износу дорогостоящей скребковой цепи. Предложена конструкция ролика, в которой вместо двух подшипников качения применяется один подшипник скольжения самосмазывающийся с вкладышем торцово-прессового деформирования древесной карточки, и приведено обоснование его высокой износостойкости и экономичности.

Ключевые слова: щебнеочистительная машина, направляющий ролик, баровая цепь, подшипник скольжения самосмазывающийся, износ, тепловизионная съемка.

Важной задачей путевого хозяйства является очистка щебеночного балласта железных дорог от загрязнений, поскольку при его засорении теряется способность упруго воспринимать нагрузки, что приводит к росту динамических сил взаимодействия подвижного состава и пути. Соответственно увеличиваются нагрузки во всех элементах верхнего строения пути, сокращается их ресурс работы, повышается расход энергоресурсов.

При среднем и капитальном ремонте железнодорожного пути для восстановления упругости щебеночного слоя и его дренирующих свойств, а также для улучшения несущей способности балластной призмы находит применение самоходная щебнеочистительная машина серии RM-80 (рисунок 1) австрийской фирмы Plasser & Theurer [1], которая позволяет осуществлять очистку балласта при высочайшем качестве работы даже в самых сложных условиях [2].

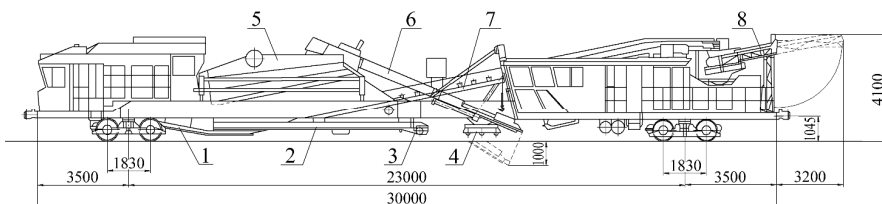


Рисунок 1 – Щебнеочистительная машина RM-80:

- 1 – устройство для очистки пути; 2 – конвейер для распределения чистого балласта; 3 – планировщик балласта; 4 – подъемно-рихтовочное устройство; 5 – виброгрохот; 6 – выгребное устройство; 7 – конвейер для засорителей; 8 – поворотный конвейер

Ее основной рабочий орган, вырезающий и удаляющий балласт из-под рельсошпальной решетки, – выгребное устройство, которое оснащено баровой (выгребной) цепью, от состояния и надежности работы которой зависит работоспособность машины, ее производительность и эффективность. Выполненный рядом исследователей анализ [3, 4] показал, что в процессе работы машины абразивный материал из засоренного щебеночного балласта попадает в соединения звеньев выгребной цепи и на ее направляющие ролики (рисунок 2). Это приводит к постепенному ослаблению натяжения цепи и дальнейшему ее разрыву.

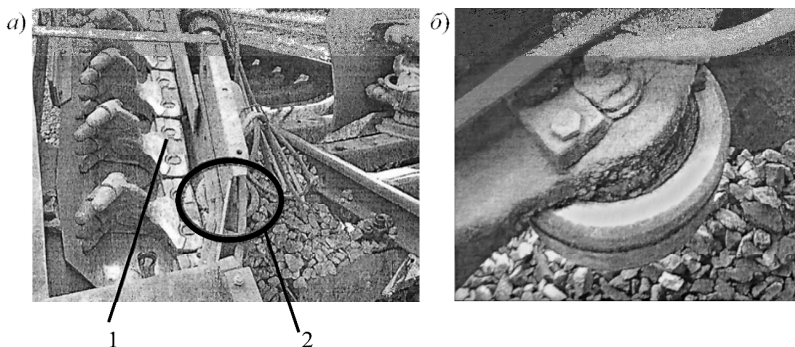


Рисунок 2 – Общий вид баровой цепи (а) и направляющего ролика (б):
1 – баровая цепь; 2 – направляющий ролик

В работе [4] предложены технические решения, позволяющие обеспечить снижение нагрузок на баровую цепь, но они связаны с использованием дополнительного оборудования и существенно усложняют технологический процесс. Проведенный нами анализ отказов узлов трения рассматриваемой щебнеочистительной машины показал, что значительное число проблем в ее эксплуатации связано с требующими частой замены и затратными в обслуживании направляющими роликами баровой цепи выгребного устройства.

Такой ролик представляет собой полый цилиндр, в который запрессованы два шарикоподшипника 313 (рисунок 3). В конструкции выгребного устройства установлено пять роликов, которые в процессе работы смазываются пластичной смазкой Shell Retinax LX-2, принудительно подающейся внутрь подшипников.

При выгребании щебня на роликах и около них скапливается огромное количество абразивных частиц, которые попадают внутрь подшипника и смешиваются со смазкой. Это приводит к тому, что смазка с абразивом начинает работать на изнашивание контактирующих поверхностей деталей подшипника, попадая в зону контакта шариков с внутренним и наружными кольцами, и приводит к заклиниванию подшипника [5–7], а следовательно, и ролика в целом. Это ведет к резкому износу дорогостоящей скребковой цепи, неравномерному срезанию балласта, снижению производительности машины.

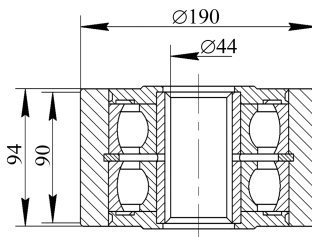


Рисунок 3 – Направляющий ролик баровой цепи

При работе подшипников качения в абразивной среде абразив проникает в пространство между шариками в шарикоподшипниках, сепаратором, внутренней поверхностью наружного кольца и наружной поверхности внутреннего кольца, и в процессе его накопления происходит заклинивание подшипника. Поэтому в узлах трения с подшипниками качения с целью предотвращения попадания абразива применяются различные уплотнения. Максимальный ресурс подшипника 313 – 1 месяц. Однако следует отметить, что зачастую они выходят из строя через 2–3 недели.

Опыт эксплуатации машин различного назначения в условиях высокого количества абразивных частиц показал достаточно высокую эффективность использования подшипников скольжения с вкладышем из древесины [8–10]. В связи с этим для решения рассматриваемой проблемы была предложена конструкция ролика, в которой вместо двух подшипников качения используется один подшипник скольжения самосмазывающийся (ПСС) с вкладышем

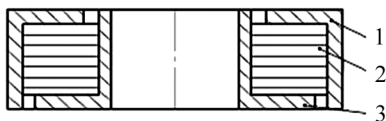


Рисунок 4 – Подшипник скольжения самосмазывающийся [11]:

1 – наружное стальное кольцо; 2 – запрессованная втулка торцово-прессового деформирования древесной карточки; 3 – внутреннее стальное кольцо

торцово-прессового деформирования (ТПД) древесной карточки (рисунок 4), пропитанной смазкой, модифицированной специальными добавками. ПСС способны длительное время работать в абразивной и агрессивной средах, при воздействии вибраций и ударных нагрузок.

Расчет показал, что предельная нагрузка на самый нагруженный ролик не превышает допустимого значения ($3982,3 \leq 4810$ Н), что свидетельствует о возможности применения ПСС ТПД в рассматриваемом случае. Ограничениями по их использованию является высокая температура (до 100 °С).

Для определения фактических температур, возникающих при работе существующих направляющих роликов выгребного устройства, была проведена их тепловизионная съемка прибором IR SnapShot. На рисунке 5 представ-

лены ее результаты, из которых следует, что наибольшая температура реализуется в нижнем направляющем ролике левой нагруженной ветви баровой цепи и незначительно превышает 100 °С.

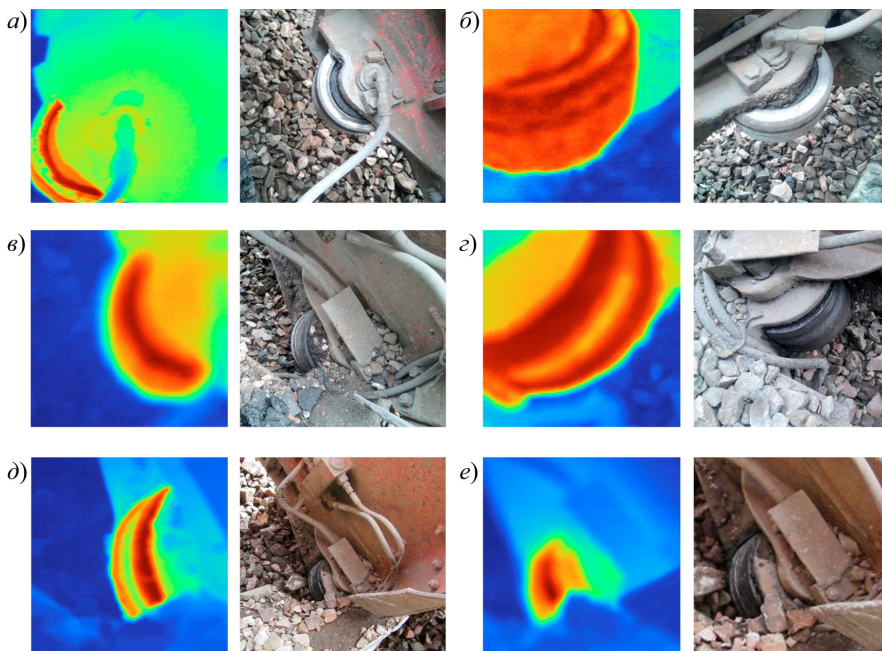


Рисунок 5 – Результаты тепловизионной съемки направляющих роликов баровой цепи: *a* – промежуточный, левая ненагруженная ветвь ($T_{\max} = 60,5$ °С); *б* – промежуточный, правая ненагруженная ветвь ($T_{\max} = 40,4$ °С); *в* – нижний, левая ненагруженная ветвь ($T_{\max} = 55$ °С); *г* – нижний, правая ненагруженная ветвь ($T_{\max} = 63,9$ °С); *д* – нижний, левая нагруженная ветвь после остановки ($T_{\max} = 104$ °С); *е* – нижний, левая нагруженная ветвь через 3 мин после остановки ($T_{\max} = 77$ °С);

Высокая износостойкость ПСС объясняется субмикроскопической моделью наполненной смазкой древесины ТПД (рисунок 6). Трение осуществляется торцом перпендикулярно оси подшипника высокоориентированными макромолекулами целлюлозы, длина которых достигает 5 мкм. Для их разрушения нужно разорвать внутримолекулярные связи, а это требует приложения больших нагрузок и высокой скорости скольжения с целью генерирования тепла, вызывающего деструкцию компонентов древесины. Если межмолекулярная энергия в сухом древесинном волокне составляет 42 кДж/моль, во влажном – 8,4 кДж/моль, то энергия разрыва внутримолекулярной связи $\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{O}$ в макромолекуле целлюлозы составляет 1076,4 кДж/моль, что превышает в 6–9 раз износостойкость древесины при трении поперек волокон.

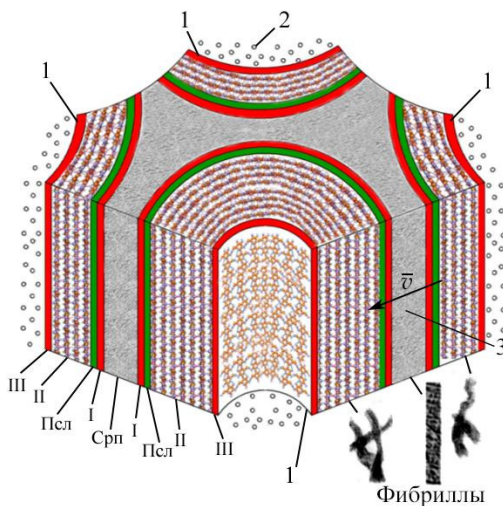


Рисунок 6 – Схема соединения оболочек (стенок) четырех соседних капилляров:

1 – стенки капилляров; 2 – смазка; 3 – поверхность трения
($\bar{v}$ – направление скорости скольжения);

I – первичная оболочка; Псл – переходный слой;

II – вторичная оболочка; III – третичная оболочка;

Срп – срединная пластинка (лигнинный скелет)

щетки, удаляют (выметают) попадающий в контактную зону абразив, а некоторые его частицы внедряются в неполностью сжатые (сплюснутые) полости капилляров. Соприкасаясь с торцевой поверхностью, абразив налипает на ней, образуя наросты, которые по мере накопления осыпаются.

Кроме того, все микронеровности контртела (вала) сглаживаются поступающей из полостей капилляр пропитывающей древесину загущенной смазкой, которая вводится один раз при сборке подшипника. Не полностью сжатые полости капилляров, контактирующих с контртелом, остаются открытыми для поступления смазки в контактную зону, в которой макромолекулы присадок вступают во взаимодействие с компонентами древесинного вещества и формируют прочный граничный смазочный слой.

Толщина клеточной стенки при прессовании (деформировании) не изменяется, а остается постоянной. Стенки капилляров ориентированы по радиусу вкладышей, обуславливая его высокие демпфирующие свойства, которые связаны с наличием внутримолекулярной водородной связи в макромолекулах целлюлозы. Это обуславливает их высокие демпфирующие свойства, которые гасят возникающие в узле трения колебания [12–14].

Проведенный анализ показал, что в зависимости от условий работы периодичность замены подшипников качения одного ролика колеблется от не-

Толщина стенки двух соседних капилляров составляет 5–15 мкм, вторичной оболочки 1–5 мкм, третичной оболочки – около 100 нм.

Агрегаты микрофибрилл, имеющих диаметр 7 нм, образуют фибриллы длиной 1–5 мкм, шириной 25–35 нм. По размерам они соизмеримы с шероховатостью R_z контактной поверхности контртела, так как обработка по внутренней контактной поверхности внутреннего кольца подшипника производится с шероховатостью $R_a = 0,63 \dots 0,2$ мкм, $R_z = 3,2 \dots 1,6$ мкм (класс чистоты 8). Неровности, соизмеримые с длиной фибрилл, расщепляют вторичную и третичную оболочки на фибриллы, которые, как

дели до месяца. Стоимость одного подшипника составляет 15 у. е. На смазку пяти роликов в месяц уходит примерно 15 л смазки, общая стоимость которой составляет 254 у. е. Затраты по замене всех подшипников при выходе их из строя через месяц составляют 150 у. е. Суммарные затраты на подшипники качения и смазку составляют 404 у. е. в месяц. Однако следует отметить, что зачастую подшипники выходят из строя через 2–3 недели.

Учитывая, что стоимость предлагаемого подшипника скольжения составляет менее 10 у. е., он не нуждается в подводе дополнительной смазки и сохраняет работоспособность в течение двух месяцев, эффект от его внедрения может оказаться весьма значительным. Также стоит отметить ремонтно-пригодность ПСС, где замене подлежит только втулка, и сокращение затрат энергоресурсов при эксплуатации щетнеочистительной машины за счет снижения трения в узлах.

Таким образом, ПСС ТПД обладают высокой износостойкостью вследствие высокой ориентации по радиусу фибрилл, перпендикулярных контактной зоне, что позволяет удалять продукты износа из зоны трения в полости капилляра, а также предотвращать попадание абразива в зону трения из внешней среды. Также используемая в них древесина имеет высокую энергию разрыва внутримолекулярных связей макромолекул целлюлозы в контактной зоне, позволяет осуществлять перенос высокомолекулярных полимерных присадок смазки из полостей капилляров на контртело, которые сглаживают его микронеровности, что вследствие образования в процессе трения граничных смазочных слоев на контактных поверхностях вкладыша ТПД и контртела обеспечивает работу узла трения на самосмазке в абразивно-агрессивных средах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Путьевые машины / М. В. Соломонов [и др.]. – М. : Желдориздат, 2000. – 756 с.
- 2 RM80 : High performance ballast cleaning for plain track and switches [Electronic resource]. – Chesapeake : Plasser American / Mode of access : <https://www.plasseramerican.com/en/machines-systems/ballast-bed-cleaning/rm80>. – Date of access : 16.10.2024.
- 3 **Zhang, M.** Improve the efficiency of RM80 ballast cleaning machine / M. Zhang, M. H. Liu, L. Jiang // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vol. 915–916. – P. 1536–1539.
- 4 **Ахметов, М. Ф.** Исследование вопросов повышения эффективности машины RM-80 / М. Ф. Ахметов, А. Ж. Машингереев // *Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева*. – 2012. – № 5 (78). – С. 16–21.
- 5 **Lazović, T. M.** Contact between abrasive particles and worn surfaces within rolling bearing / T. M. Lazović, R. M. Mitrović, Z. Z. Mišković // *Contact Mechanics: Theory and Applications : Mini-symposium*. – Belgrade : Mathematical Institute of SASA, 2017. – 2 p.
- 6 **Nilsson, R.** Abrasive wear of rolling bearings by lubricant borne particles / R. Nilsson, R. S. Dwyer-Joyce, U. Olofsson // *Journal of Engineering Tribology*. – 2006. – Vol. 220, no. 5. – P. 429–439.

7 **Morales Espejel, G. E.** Particle entrapment and indentation process in rolling bearings / G. E. Morales Espejel, A. Gabelli // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. – 2016. – Vol. 230, no. 12. – P. 1572–1587.

8 **Ахметзянов, Р. Р.** Анализ композиционных материалов для подшипников скольжения сельскохозяйственных машин / Р. Р. Ахметзянов, Р. Р. Ахметзянова // *Воспроизводство плодородия почв и продовольственная безопасность в современных условиях : сб. трудов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию кафедры агрохимии и почвоведения Казанского ГАУ*. – Казань : Изд-во Казанского ГАУ. – 2021. – С. 204–209.

9 **Федосеева, Е. С.** К вопросу об изготовлении подшипников скольжения из древесины / Е. С. Федосеева, С. Н. Исаков, И. В. Яцун // *Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : материалы XX Всероссийской (национальной) научно-технической конференции*. – Екатеринбург : УГЛТУ, 2024. – С. 515–518.

10 **Абдугаффаров, Х. Ж.** О подшипниках скольжения на древесной основе для хлопкоочистительных машин / Х. Ж. Абдугаффаров, О. Ж. Муродов // *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*. – 2023. – № 1 (403). – С. 114–120.

11 **Врублевская, В.** Подшипники скольжения для работы в абразивно-агрессивных средах. Исследования, создание, внедрение / В. Врублевская, В. Кузнецова, М. Аникеева // *Beau Bassin : Lambert Academic Publishing*, 2018. – 344 с.

12 **Кузнецова, В. В.** Износостойкие самосмазывающиеся подшипники скольжения из природного композита / В. В. Кузнецова, М. В. Аникеева, В. И. Врублевская // *Вестник БрГТУ*. – 2016. – № 4. – С. 45–50.

13 **Аникеева, М. В.** Особенности строения природного композита в износостойких подшипниках скольжения / М. В. Аникеева, В. В. Кузнецова // *Современные технологии в образовании : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24–25 ноября, 2016 г. Ч. 2*. – Минск : БНТУ, 2016. – С. 3–6.

14 **Кузнецова, В. В.** Антифрикционный природный износостойкий композит и его строение / В. В. Кузнецова, В. И. Врублевская, М. В. Аникеева // *Труды БГТУ*. – 2017. – № 1. – С. 115–124.

M. V. ANIKEYEVA¹, Y. V. SAVELIEV²

¹Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

²Unitary enterprise "Gomelvtorchmet", Gomel, Belarus

IMPROVING THE DURABILITY OF BEARING UNITS OF THE PLASSER & THEURER GRAVEL CLEANING MACHINE

The self-propelled ballast cleaning machine of the RM-80 series is considered. As a result of the analysis of its friction units failures, it was found that the presence of a large number of abrasive particles in the clogged ballast leads to the guide roller rolling bearings jamming and to the subsequent intensive wear of the scraper chain parts. There is proposed a roller design with one self-lubricating friction bearing with a wood board end-press deformation insert instead of two rolling bearings, that justifies its high durability and cost-effectiveness.

Keywords: gravel cleaning machine, guide roller, bar chain, self-lubricating sliding bearing, wear, thermal imaging.

Получено 24.10.2024