



Н. Г. Филиппенко, Д. В. Баканин, В. С. Бычковский, А. С. Курайтис

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

Дата поступления: 15 июня 2019 г.

АЛГОРИТМ ЗАПОЛНЕНИЯ СМАЗКОЙ КАССЕТНЫХ ПОДШИПНИКОВ БУКСОВЫХ УЗЛОВ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В УСЛОВИЯХ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Аннотация. Сборка кассетных подшипников осуществляется заводом-производителем в строгом соответствии с разработанной технологией при помощи автоматизированных и автоматических поточных линий. Используемые оснастки, материалы и исходные параметры технологических процессов производителями не разглашаются. Поэтому авторы указывают на несколько парадоксальную ситуацию, особенно при проведении активирования вышедших из строя гарантийных кассетных подшипников: исследования показали, что около 7% отцепочных ремонтов, связанных с выходом из строя кассетных подшипников, приходится на причины, связанные с неправильной методикой заполнения их смазкой, а отсутствие информации о технологиях сборки кассетных подшипников не позволяет в полной мере проанализировать причины неисправностей и выработать мероприятия по их исключению. Отмечено также, что существующие методики заполнения подшипников смазкой не учитывают условия эксплуатации регионов с большими градиентами температур, а несовершенство существующих методик требует разработки нового алгоритма заполнения смазкой подшипников с учетом метеоусловий эксплуатации. В данной работе представлен разработанный авторами алгоритм заполнения кассетных подшипников смазкой для условий работы в Сибирском и Дальневосточном регионах. Расчет объемного заполнения учитывает разогрев подшипника, его охлаждение, обводнение смазки, точность изготовления. Внедрение в технологический процесс разработанный авторами алгоритм заполнения смазкой подшипников позволяет решить проблемы их эксплуатации в регионах Сибири и Дальнего востока. Также данный алгоритм позволяет разработать технологии ремонта и восстановления подшипников с обособанным заполнением их смазкой и учетом конструктивных особенностей подшипников и климатических условий их эксплуатации, что сэкономит до 7% отцепочных ремонтов связанных с неисправностями кассетных подшипников буксового узла подвижного состава.

Ключевые слова: алгоритм заполнения смазкой, кассетный подшипник, буксовый узел, подвижной состав.

N. G. Filippenko, D. V. Bakanin, V. S. Bychkovsky, A. S. Kuraitis

Irkutsk State University of railway Transport, Irkutsk, the Russian Federation

Received: June 15, 2019

THE ALGORITHM FOR FILLING WITH GREASE CARTRIDGE BEARINGS AXLE EQUIPMENT OPERATING IN CONDITIONS OF SIBERIA AND THE FAR EAST

Abstract. Assembly of cassette bearings is carried out by the manufacturer in strict accordance with the developed technology with the help of automated and automatic production lines. The used equipment, materials and initial parameters of technological processes are not disclosed by manufacturers. Therefore, the authors point to a somewhat paradoxical situation, especially during the actuation of failed warranty cassette bearings. studies have shown that: - about 7% of the uncoupling repairs associated with the failure of the cassette bearings, account for the reasons associated with the wrong method of filling them with grease, and the lack of information about the technologies of Assembly of cassette bearings does not allow to fully analyze the causes of malfunctions and develop measures to eliminate them. It is also noted that the existing methods of filling bearings with grease do not take into account the operating conditions of regions with large temperature gradients, and - the imperfection of existing methods requires the development of a new algorithm for filling bearings with grease, taking into account weather conditions. This paper presents an algorithm developed by the authors to fill the cassette bearings with grease for working conditions in the Siberian and far Eastern regions. The calculation of the volume filling takes into account the heating of the bearing, its cooling, lubrication watering, manufacturing accuracy the Introduction of the technological process developed by the authors of the algorithm of filling the bearings with grease can solve the problems of their operation in the regions of Siberia and the Far East. Also this algorithm will allow to develop technologies of repair and restoration of bearings with reasonable filling them with lubricant and taking into account design features of bearings and climatic conditions of their operation that will save up to 7% of uncoupling repairs connected with malfunctions of cassette bearings of a axle Assembly of a rolling stock.

Keywords: algorithm of filling with lubricant, cassette bearing, axle Assembly, rolling stock.

Актуальность работы и цель исследования

Разработка и использование двухрядных роликовых конических подшипников для работы на подвижном составе железных дорогах России позволила увеличить скорость движения пассажир-

ских вагонов до 200 км/ч, а в грузовых вагонах увеличить осевые нагрузки до 27 тонн на ось. В связи с этим, изучение данного направления развития подшипниковых узлов является актуальной задачей [1].



Одновременно с двухрядными подшипниками широкое распространение получили буксовые узлы с кассетными подшипниками. Кассетные буксовые узлы представляют собой конструкцию, отрегулированную на заводе-изготовителе. Они полностью готовы к установке на оси колесных пар, причем, как показывают исследования, заправка смазкой осуществляется компьютеризированными способами. При этом нельзя не отметить, что методики расчета производители не разглашают, не афишируют они также и технологии заполнения. Но, как показывают некоторые статистические выборки, такие методики не всегда соответствуют условиям эксплуатации кассетных подшипников в различных климатических условиях нашей страны [2]. При этом известно, что около 10% всех отказов в машинах и механизмах приходится на проблемы, связанные с обеспечением их смазкой [3].

В связи с вышеизложенным, целью настоящего исследования является создание алгоритма заполнения смазкой подшипников буксовых узлов, эксплуатируемых в условиях Сибири и Дальнего востока.

Исследования динамики отказов и повреждений подшипниковых узлов. Организация работ по ремонту и восстановлению подшипниковых узлов

Сборка кассетных подшипников осуществляется заводом-производителем в строгом соответствии с разработанной технологией при помощи автоматизированных и автоматических поточных линий. Используемые оснастки, материалы и исходные параметры технологических процессов производителями не разглашаются. Поэтому возникает несколько парадоксальная ситуация, особенно при проведении активирования вышедших из строя гарантийных кассетных подшипников. Как видно из приведенных статистических данных выбраковки подшипников (табл. 1), заводы изготовители признают только единичные случаи, т. к. невозможно проверить или доказать расхождения,

точность и правильность сборки, в том числе и при операциях заполнении смазкой [3, 4].

Тем не менее, проблема состоит еще и в том, что обслуживание таких подшипников предприятия-изготовители, как правило, оставляют исключительно за собой. Нельзя не отметить и еще одну особенность, с которой эксплуатационные организации и владельцы подвижного состава сталкиваются в процессе работы: «Мы сегодня являемся свидетелями того, как одно неправильное решение относительно изменения геометрии колеса и ширины рельсовой колеи, принятое более тридцати лет назад, может пагубно отразиться на работе железнодорожного транспорта на протяжении десятилетий», – сказал президент НП «ОПЖТ» Валентин Гапанович [4, 5].

Данное высказывание в полной мере можно интерпретировать к сервисной системе производителей и к несоответствию ресурсов эксплуатации колесной пары кассетных подшипников буксовых узлов подвижного состава.

Поэтому реальной необходимостью для владельцев и ремонтных организаций ОАО «РЖД» является организация собственных производственных подразделений по ремонту и восстановлению кассетных подшипниковых узлов на базе колесно-роликовых участков ВРП.

Анализ неисправностей кассетных подшипников (рис. 1) показывает, что среди причин отцепок имеются такие, как неисправность сепаратора – 1,7 % и обводнение смазки – 5,2 %.

В отчете не были приведены причины выбраковки, но работы по кинетике разрушений подшипников и их сепараторов [3, 6, 8] косвенно доказывают, что таковыми могут быть эксплуатационные условия синтезированных и полимерных материалов, используемых в конструкции кассетных подшипников [6, 7].

Поэтому следующей подзадачей настоящей работы были исследования конструкции подшипников и методов их заполнения синтетическими и минеральными смазками.

Т а б л и ц а 1

Выбраковка кассетных подшипников

	2013	2014	2015	2016
Количество отцепок по буксовым узлам SKF, зарегистрированных в системах ОАО «РЖД»	Нет данных	20	167	187
Количество отцепок, по которым была получена информация и проведено расследование	19	22	52	93
Подтвержденных в итоге по вине подшипника SKF	1	0	0	1

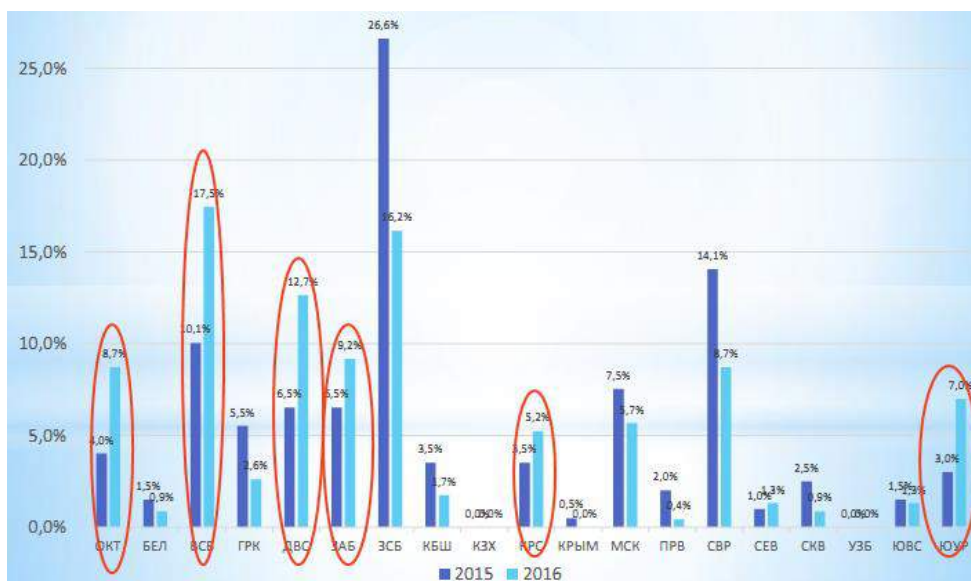


Рис. 1. Отцепки вагонов с кассетными подшипниками ЕПК-Бренко за период 2015-2017 гг

Исследования конструкции подшипников и методов их заполнения смазками

Нет сомнения, что производители постоянно совершенствуют конструкцию подшипников, подбирают всё более эффективные рецепты смазок, уменьшающих трение букс, снижающих скорость окислительного процесса, прочно удерживающихся на поверхности подшипника и шейки оси, но как было сказано ранее, не разглашают рецептуру и технологию ее нанесения.

Анализ отечественных смазочных материалов показывает, что с советских времён в нашей стране существуют смазки, созданные специально для железнодорожного транспорта. Их условно подразделяют на несколько групп. К первой группе относятся, интересующие нас смазки для вагонных букс и локомотивов ЖРО и ЛЗ-ЦНИИ.

Входящие в состав смазки специальные добавки с противозадирными и антиокислительными свойствами позволяют данному смазочному материалу уменьшать образование задиров, коррозии при интенсивной эксплуатации букс. Масла, закладываемые в буксу при сборке, работают без замены до проведения очередной ревизии. Функционирует ЛЗ-ЦНИИ в течение пяти лет и обеспечивает пробег букс до 450000 км.

Смазка для подшипников роликового типа ЖРО (ТУ 32 ЦТ 520-77) также содержит в своём составе литий. Благодаря этому она устойчива к воздействию влаги. Употребляется данная смазка в узлах трения с подшипниками качения как локомотивов, так и мотор-вагонов. Функционирует ЖРО в любое время года без замены. Буксовая смазка ЖРО работает с высокой эффективностью

при похолодании до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, хотя производители рекомендуют эксплуатировать смазку и при $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Смазка обеспечивает пробег подвижного состава не менее 400000 км. Маловязкая основа смазки ЖРО значительно повышают её противозадирные и антифрикционные свойства.

Анализ конструкции подшипникового буксового узла, представленного на рис. 2 показывает, что в узлы со временем все же проникает влага, ухудшающая качество смазки, а изменяющийся объем смазки, дает объективную предпосылку к разрушению наружных и внутренних колец полимерных сепараторов и выдавливанию уплотнения на его наружной стороне.

Несмотря на то, что производители ведут научные изыскания с целью создания новых эффективных смазок и технологий их закладок исследования показали, что:

- около 7% отцепочных ремонтов, связанных с выходом из строя кассетных подшипников, приходится на причины, связанные с неправильной методикой заполнения их смазкой

- отсутствие информации о технологиях сборки кассетных подшипников не позволяет в полной мере проанализировать причины неисправностей и выработать мероприятия по их исключению

- существующие методики заполнения подшипников смазкой не учитывают условия эксплуатации регионов с большими градиентами температур.

- несовершенство существующих методик требует разработки нового алгоритма заполнения смазкой подшипников с учетом метеоусловий эксплуатации [5, 8].

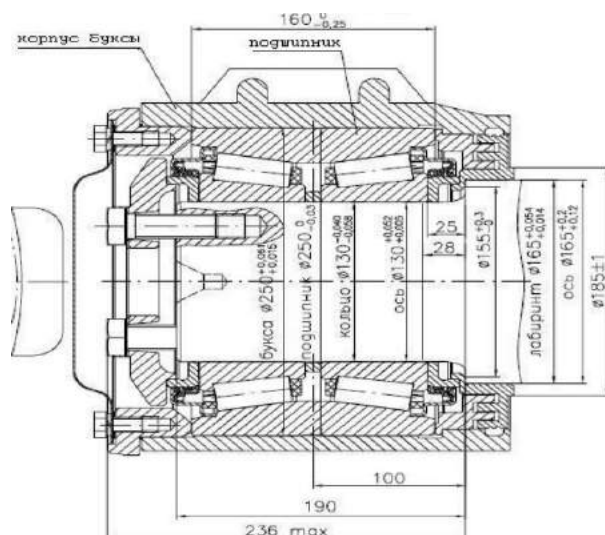


Рис. 2. Буксовый узел с подшипником кассетного типа

Алгоритм заполнения смазкой кассетных подшипников, эксплуатируемых в условиях Сибири и Дальнего Востока

Разработка конструкции подшипника и технологии его ремонта требует строгого выполнения заданных качеств поверхностей, размеров деталей и их допусков. Таким образом, имея чертежи деталей и сборочный чертеж узла, возможен расчет объема узла подшипника с допуском с точностью, а для учета влияния температурных факторов необходимы дополнительные исследования климатически-температурного режима региона и температурного режима эксплуатации подшипников буксовых узлов подвижного состава. В качестве исходных данных были приняты данные климатически-температурного режима региона эксплуатации и максимальная температура работы подшипникового узла, например, по КТСМ.

Исследования метеоданных гг. Иркутск, Красноярск, Братск, Кемерово (рис. 3) показали, что сезонное распределение температуры гг. Братск и Кемерово характерно для резко-

континентального климата Сибирского региона, а годовые температурные колебания гг. Иркутск и Красноярск, из-за нахождения рядом с ними значительного объема незамерзающей в зимний период воды, близки к климатическим особенностям Дальневосточного региона.

Для всех городов характерен высокий температурный градиент, что, собственно, и представляет наибольший интерес при рассмотрении алгоритма заполнения смазкой буксовых узлов.

При этом необходимо учитывать, что приоритетным фактором наполнения узла смазкой является отсутствие в узле ее избыточного количества. Излишки смазки приводят к повышенному давлению при увеличении температуры, что в свою очередь приведет к выдавливанию резиновых контактных уплотнений, полимерных прокладок и выбросу смазки. Такое состояние подшипника приведет к его «открытию», вытеканию смазки и катастрофическому износу по целому ряду параметров.

Таким образом, в основу алгоритма был положен расчет, основанный на определении мини-

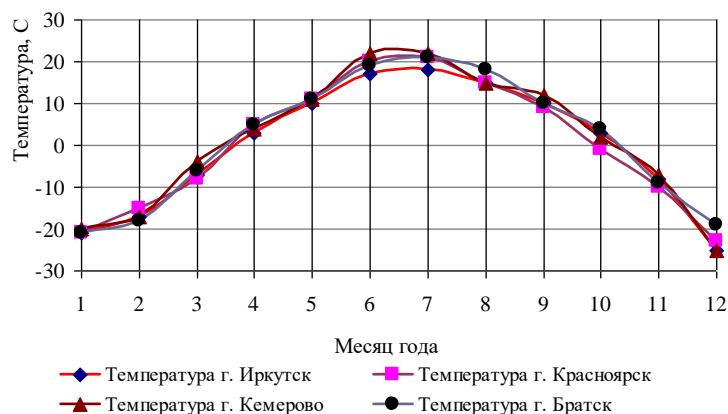


Рис. 3. Средняя температура в гг. Иркутск, Красноярск, Кемерово Братск за 2015–2017 гг.



мального количества смазки, обеспечивающей безаварийную эксплуатацию подшипника во всем температурном диапазоне его эксплуатации.

Максимальная температура нагрева буксы и адаптера, которая не должна превышать 70°C без учета температуры окружающего воздуха, была взята из нормативного документа [6, 11–13].

Необходимо отметить, что коэффициент теплового расширения смазки ($KZ_{\text{темп расш}}$) определен в настоящей работе не был и его эмпирическое нахождение является темой дальнейших исследований [12–18].

Существующие методики заполнения подшипников смазкой исходят из общеизвестного правила - уровень заполнения обратно пропорционален количеству оборотов (кстати сказать, не потерявшего своей актуальности и сегодня). Нами он был принят со следующими показателями:

- низкоскоростные подшипники – 90 %, ($K_{\text{зап}}=0,9$);
- среднеоборотистые подшипники – 50 %, ($K_{\text{зап}}=0,9$);
- быстроходные подшипники – 30 %, ($K_{\text{зап}}=0,9$).

Зная особенности конструкции и материалы кассетных, роликовых, двухрядных подшипников [9–13], приняв, что все они проявляют изотропные свойства, можно вычислить объем смазочного материала $V_{\text{смаз}}$ по следующей формуле:

$V_{\text{смаз}} = (V_{\text{конструкции}} - V_{\text{сб1}} - V_{\text{сб2}} - V_{\text{сб3}} - \dots - V_{\text{сбi}}) \cdot K_{\text{зап}}$, (1)
где $V_{\text{конструкции}}$ – объем габаритного пространства внутри сборочной конструкции, состоящий из $V_{\text{сб1}}$ $V_{\text{сб2}}$ $V_{\text{сбi}}$ 1-го, 2-го, ... i -го объема входящих в габаритное пространство деталей конструкции.

При этом необходимо отметить, что формула (1), не учитывает температурные режимы эксплуатации, которые в реальном режиме присутствуют и оказывают влияние работу узла.

Рассмотрев укрупненно коэффициент теплового расширения для

- подшипниковой стали $KI_{\text{темп расш}}=17,3 \cdot 10^{-6}/1 \text{ } ^\circ\text{C}$,
- полиамида $K2_{\text{темп расш}}=21,5 \cdot 10^{-6}/1 \text{ } ^\circ\text{C}$,
- полиамида $K2_{\text{темп расш стеклонеп}}=7010^{-6}/1 \text{ } ^\circ\text{C}$,
стеклонаполненного
- резины $K_{\text{темп расш}}=7710^{-6}/1 \text{ } ^\circ\text{C}$,

можно сделать вывод, что температурное расширение изделий из полимерных и композитных материалов оказывают большее влияние на изменение объема, чем традиционные материалы из металлов, а, следовательно, учет этих расширений можно выразить следующим образом.

$$V_{\text{сбi}} = (V_{\text{сбi+}} - V_{\text{сбi-}}) \cdot K_{\text{мат i}} \cdot K_{\text{зап}} \quad (2)$$

$$V_{\text{смаз}} = K \cdot (V_{\text{констр}} - V_{\text{сб1}} - V_{\text{сб2}} - V_{\text{сб3}} - \dots - V_{\text{сбi}}) \cdot K_{\text{зап}} \quad (3)$$

В ходе исследований было определено, что особенностью практического состояния смазки является ее обводнение. Рассмотрев максимально возможное содержание влаги в узле (может присутствовать до 8% влаги) было определено, что при температуре ниже +3,9°C оно даст увеличение объема смазки:

$$V_{\text{смаз}} = K_{\text{зап}} \cdot \frac{V_{\text{сбор.един}} \cdot IT_{-0}^{+a} - \sum_1^i V_{\text{минT.}} \cdot IT_{-0}^{+a}}{100} \cdot 92. \quad (4)$$

Рассмотрев эскиз подшипникового узла (рис. 4) с указанными основными размерами сделан вывод, что формула (4) для него может быть преобразована в следующий вид (5):

$$V_{\text{смаз}} = K_{\text{зап}} \cdot \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{н}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{ст}} \cdot t \text{ min}) \right] \times \\ \times H_{\text{н}} - \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{в}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{ст}} \cdot t \text{ min}) \right] \cdot H_{\text{н}} - \\ - \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{р}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{ст}} \cdot t \text{ min}) \right] \cdot |H_{\text{р}} \cdot N_{\text{р}} - \\ - V_{\text{с}} \div 2 \cdot (\alpha_{\text{полим}} \cdot t \text{ min}) \quad (5)$$

где $D_{\text{н}}$, $D_{\text{в}}$, $D_{\text{р}}$ – диаметры наружного кольца подшипника, внутреннего кольца подшипника, диаметр ролика соответственно; $t \text{ min}$ – минимальная температура эксплуатации; $\alpha_{\text{ст}}$, $\alpha_{\text{полим}}$ – коэффициенты температурного расширения стали и полимера(сепаратора) соответственно.

Учитывая значительные температурные расширения полимеров, композитов и резин, входящих в состав конструкции подшипника и допуски на размеры сборочных единиц данная формула может быть уточнена следующим образом:

$$V_{\text{смаз}} = K_{\text{зап}} \cdot \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{н min}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{ст}} \cdot t \text{ min}) \right] \times \\ \times H_{\text{н}} - \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{в max}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{ст}} \cdot t \text{ min}) \right] \cdot H_{\text{н}} - \\ - \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{р max}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{ст}} \cdot t \text{ min}) \right] \cdot H_{\text{р}} \cdot N_{\text{р}} - \\ - V_{\text{с}} \div 2 \cdot (\alpha_{\text{ст}} \cdot t \text{ min}) \quad (6)$$

где $D_{\text{н min}}$ – диаметр наружного кольца подшипника с минимальным размером по допускам, $D_{\text{в max}}$, $D_{\text{р max}}$ – диаметры внутреннего кольца подшипника и диаметр ролика соответственно с максимальными размерами по допуску.

$$\begin{aligned}
 V_{\text{смаз}} = K_{\text{зан}} \cdot 0,92 \times & \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{н min}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{см}} \cdot t_{\text{min}}) \right] \cdot H_{\text{н}} - \\
 & - \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{в max}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{см}} \cdot t_{\text{мин}}) \right] \cdot H_{\text{н}} - \\
 & - \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{р max}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{см}} \cdot t_{\text{мин}}) \right] \cdot H_{\text{р}} \times \\
 & \times N_{\text{р}} - V_{\text{с}} \div 2 \cdot (\alpha_{\text{см}} \cdot t_{\text{мин}}), \quad (7)
 \end{aligned}$$

Причем, если учесть, что сам смазочный материал также обладает собственным коэффициентом линейного расширения ($\alpha_{\text{смазки}}$), окончательно объем смазочного материала может быть определен:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{смаз}} = K_{\text{зан}} \cdot 0,92 \cdot \alpha_{\text{смазки}} \cdot t_{\text{мин}} \times & \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{н min}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{см}} \cdot t_{\text{мин}}) \right] \cdot H_{\text{н}} - \\
 & - \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{в max}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{см}} \cdot t_{\text{мин}}) \right] \cdot H_{\text{н}} -
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & - \left[\pi \cdot \left(\frac{D_{\text{р max}}}{2} \right)^2 \cdot (\alpha_{\text{см}} \cdot t_{\text{мин}}) \right] \times \\
 & \times H_{\text{р}} \cdot N_{\text{р}} - V_{\text{с}} \div 2 \cdot (\alpha_{\text{см}} \cdot t_{\text{мин}}), \quad (8)
 \end{aligned}$$

В общем виде формулу для расчета количества заправляемой смазки любых подшипников с учетом температурных условий эксплуатации, допусков на выполняемые размеры, практического присутствия воды в смазке и коэффициента заполнения можно представить следующим образом:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{смаз}} = K_{\text{зан}} \cdot 0,92 \cdot V_{\text{смазке min T}} \times & \left(V_{\text{сбор. едun}} \cdot \Pi_{-a}^{+0} - \sum_1^i V_{\text{min T}} \cdot \Pi_{-0}^{+a} \right). \quad (9)
 \end{aligned}$$

Вывод

Внедрение в технологический процесс разработанный авторами алгоритм заполнения смазкой подшипников позволяет решить проблемы их эксплуатации в регионах Сибири и Дальнего востока. Также данный алгоритм позволит разработать технологии ремонта и восстановления буксовых узлов с обоснованным заполнением их смазкой и учетом конструктивных особенностей подшипников и климатических условий их эксплуатации, что сэкономит до 7% отцепочных ремонтов связанных с неисправностями кассетных подшипников буксовых узлов подвижного состава.

БИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пути совершенствования конструкции колесных пар грузовых вагонов. Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/5907224/page:11/>
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». – М. : Минприроды России ; НИА-Природа, 2016. – 639 с.
3. Гаджиев, Г.М. Топливо-смазочные материалы. В 2 ч. Ч. 2. // Йошкар-Ола : ПГТУ, 2017. — 260 с.
4. Никитин А.В. Конические буксовые подшипниковые узлы SKF СТВU Опыт эксплуатации на пространстве 1520, организация сервиса и восстановительного ремонта, НП «ОПЖТ», Москва, 16.02.2016/ Никитин А.В., исполнительный директор ООО «СКФ Тверь» Режим доступа: http://opzt.ru/sites/default/files/files/6_skf_presentation_12.02.16.pdf.
5. Результаты эксплуатации грузовых вагонов, оборудованных подшипниками кассетного типа производства ООО «ЕПК-бренко подшипниковая компания», за период 2015/2016 гг. Москва, Май 2017 г. Режим доступа: <https://docplayer.ru/81039059-Resultaty-ekspluatcii-gruzovyh-vagonov-oborudovannyh-podshipnikami-kassetnogo-tipa-proizvodstva-ooo-epk-brenko-podshipnikovaya-kompaniya-za-period.html>.
6. Регламент осмотра колесных пар с подшипниками кассетного типа при тревожных показаниях напольных средств теплового контроля (КТСМ) железнодорожной инфраструктуры ОАО "РЖД".
7. Колесо невозврата // Газета Гудок. 5 полоса, Технологии. Выпуск № 212 (26351) 29.11.2017.
8. Kargapol'tsev S.K., Shastin V.I., Gozbenko V.E., Livshits A.V., Filippenko N.G. Laser alloying of wear surfaces with metal components International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Т. 12. № 17. С. 6499-6503.
9. Филиппенко Н.Г. Аспекты выбора параметров автоматизированной электротермической обработки термопластов. // Пластические массы. 2017. № 7-8. С. 29-31.
10. Филиппенко Н.Г. Определение эффективных режимов электрохимической сушки полимерных материалов / Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В., Машович А.А. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2013. № 2 (5). С. 82-87.
11. Александров А.А. Математическое моделирование процесса охлаждения заготовок из алюминиевых сплавов при термообработке. Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика. 2016. № 3. С. 15-22.
12. Александров А.А. Математическое моделирование остаточных напряжений при производстве заготовок из алюминиевых сплавов. Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. 2016. № 16. С. 21-25.
13. Лившиц А.В., Александров А.А. Прогнозирование температурного поля для определения остаточных напряжений возникающих при термообработке алюминиевых сплавов Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2014. № 7. С. 36-47.
14. Буторин Д.В. Математическое моделирование процесса высокочастотной сушки партии полимерных изделий, изолированных от электродов рабочего конденсатора с обеих сторон. Colloquium-journal. 2018. № 7-3 (18). С. 14-23.
15. Белоголов Ю.И., Гозбенко В.Е., Каргапольцев С.К. Автоматизация расчетов уплотнительных соединений с тонкостенными элементами (упругой кромкой). Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21. № 5 (124). С. 54-68.



16. Gozbenko V.E., Khomenko A.P., Kargapol'tsev S.K., Minaev N.V., Karlina A.I. Creating of the alternative lubricants and practice of their use International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 22. С. 12369-12372.
17. Гозбенко В.Е., Карлина А.И., Каргапольцев С.К. Главные координаты в решении задач вертикальной динамики транспортного средства. Системы. Методы. Технологии. 2016. № 3 (31). С. 58-62.
18. Лившиц А.В. Блок защиты от электрического пробоя автоматизированной системы управления процессами высокочастотной электротермии полимеров Системы. Методы. Технологии. 2014. № 2 (22). С. 84-89.

REFERENCES

- Puti sovershenstvovaniya konstrukcii kolesnyh par gruzovyh vagonov. Rezhim dostupa: <https://studfiles.net/preview/5907224/page:11/>
- Gosudarstvennyj doklad «O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2015 godu». – М. : Minpriroda Rossii; NIA- Priroda, 2016. – 639 s.
- Gadzhiev, G.M. Toplivo-smazochnye materialy. V 2 ch. CH. 2. Joshkar-Ola : PGU, 2017. — 260 s.
- Nikitin A.V Konicheskie buksovye podshipnikovye uzly SKF CTBU Opyt ehkspluatcii na prostranstve 1520, organizaciya servisa i vosstanovitel'nogo remonta, NP «OPZHT», Moskva, 16.02.2016/ Nikitin A.V., ispolnitel'nyj direktor OOO «SKF Tver'» Rezhim dostupa: http://opzt.ru/sites/default/files/files/6_skf_presentation_12.02.16.pdf
- Rezultaty ehkspluatcii gruzovyh vagonov, oborudovannyh podshipnikami kassetnogo tipa proizvodstva ooo «EPK-brenko podshipnikovaya kompaniya», za period 2015/2016 gg. Moskva, Maj 2017 g. Rezhim dostupa:<https://docplayer.ru/81039059-Rezultaty-ehkspluatcii-gruzovyh-vagonov-oborudovannyh-pod-shipnikami-kassetnogo-tipa-proizvodstva-ooo-epk-brenko-podshipnikovaya-kompaniya-za-period.html>
- Reglament osmotra kolesnyh par s podshipnikami kassetnogo tipa pri trevozhnyh pokazaniyah napol'nyh sredstv teplovogo kontrolya (KTSM) zheleznodorozhnoj infrastruktury OAO "RZHD"
- Koleso nevozvrata // Gazeta Gudok. 5 polosa, Tekhnologii. Vypusk № 212 (26351) 29.11.2017
- Kargapol'tsev S.K., Shastin V.I., Gozbenko V.E., Livshits A.V., Filippenko N.G. Laser alloying of wear surfaces with metal components. International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 17. S. 6499-6503
- Filippenko N.G. Aspekty vybora parametrov avtomatizirovannoj ehlektrotermicheskoj obrabotki termoplastov Plasticheskie massy. 2017. № 7-8. S. 29-31.
- Filippenko N.G., Livshits A.V., Mashovich A.YA. Izvestiya vuzov. Opredelenie ehffektivnyh rezhimov ehlektrohimicheskoj sushki polimernyh materialov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya. 2013. № 2 (5). S. 82-87.
- Aleksandrov A.A. Matematicheskoe modelirovanie protsessa ohlazhdeniya zagotovok iz aluminievyyh splavov pri termoobrabotke. Vestnik Burjatskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika, informatika. 2016. № 3. S. 15-22.
- Aleksandrov A.A. Matematicheskoe modelirovanie ostatochnyyh naprjazhenij pri proizvodstve zagotovok iz aluminievyyh splavov. Informatsionnye tehnologii i problemy matematicheskogo modelirovaniya slozhnyh sistem. 2016. № 16. S. 21-25.
- Livshits A.V., Aleksandrov A.A. Prognozirovaniye temperaturnogo polya dlja opredeleniya ostatochnyyh naprjazhenij voznikajushchih pri termoobrabotke aluminievyyh splavov. Nauka i obrazovanie: nauchnoe izdanie MGTU im. N. E. Baumana. 2014. № 7. S. 36-47.
- Butorin D.V. Matematicheskoe modelirovanie protsessa vysokochastotnoj sushki partii polimernyh izdelij, izolirovannyh ot `elektrodivo rabochego kondensatora s oboih storon. Colloquium-journal. 2018. № 7-3 (18). S. 14-23.
- Belogolov Ju.I., Gozbenko V.E., Kargapol'tsev S.K. Avtomatizatsiya raschetov uplotnitel'nyh soedinenij s tonkostennymi `elementami (uprugoj kromkoj). Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2017. T. 21. № 5 (124). S. 54-68.
- Gozbenko V.E., Khomenko A.P., Kargapol'tsev S.K., Minaev N.V., Karlina A.I. Creating of the alternative lubricants and practice of their use. International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 22. S. 12369-12372.
- Gozbenko V.E., Karlina A.I., Kargapol'tsev S.K. Glavnye koordinaty v reshenii zadach vertikal'noj dinamiki transportnogo sredstva. Sistemy. Metody. Tehnologii. 2016. № 3 (31). S. 58-62.
- Livshits A.V. Blok zaschity ot `elektricheskogo probоя avtomatizirovannoj sistemy upravlenija protsessami vysokochastotnoj `elektrotermii polimerov Sistemy. Metody. Tehnologii. 2014. № 2 (22). S. 84-89.

Информация об авторах

Филиппенко Николай Григорьевич – к. т. н., доцент, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pentagon@mail.ru.

Бычковский Владимир Сергеевич – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, инженер-конструктор, АО «Иркутский релейный завод», г. Иркутск, e-mail: bikovskii_vs@mail.ru.

Баканин Денис Викторович – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, инженер-конструктор, АО «Иркутский релейный завод», г. Иркутск, e-mail: denis.bakan@mail.ru.

Курайтис Алексей Сергеевич – аспирант кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: kuraitis.aleksei@mail.ru.

Authors

Nikolay Grigoryevich Filippenko – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: pentagon@mail.ru.

Vladimir Sergeevich Bychkovskiy – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Design Engineer, Irkutsk Relay Plant JSC, Irkutsk, e-mail: bikovskii_vs@mail.ru.

Denis Viktorovich Bakanin – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Design Engineer, Irkutsk Relay Plant JSC, Irkutsk, e-mail: denis.bakan@mail.ru.

Aleksei Sergeevich Kuraitis – Ph.D. student, the Subdepartment of Automation of Production Processes, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: kuraitis.aleksei@mail.ru.

**Для цитирования**

Филиппенко Н. Г. Алгоритм заполнения смазкой кассетных подшипников буксовых узлов, эксплуатируемых в условиях Сибири и Дальнего Востока / Н. Г. Филиппенко, В. С. Бычковский, Д. В. Баканин, А. С. Курайтис // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 63, № 3. – С. 180–187. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).180–187

For citation

Filippenko N. G., Bychkovsky V. S., Bakanin D. V., Kuraitis A. S. Algoritm zapolneniya smazkoy kassetnykh podshipnikov buksovykh uzlov ekspluatiruyemykh v usloviyakh Sibiri i Dal'nego Vostoka [The algorithm for filling with grease cartridge bearings axle equipment operating in conditions of Siberia and the far East]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2019. Vol. 63, No. 3, pp. 180–187. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).180–187