

УДК 629.3.027.3

EDN: RZBGHT

**КЛАССИФИКАЦИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕХНИКИ,
РАБОТАЮЩЕЙ НА КРАЙНЕМ СЕВЕРЕ****К.Я. Лелиовский**

ORCID: 0000-0003-0962-3303 e-mail: kleliovskiy@mail.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***Ю.И. Молев**

ORCID: 0000-0002-0429-4590 e-mail: moleff@yandex.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***А.Р. Хамитов**

ORCID: 0009-0003-6736-6461 e-mail: KhamitovAR@alrosa.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***У.Ш. Вахидов**

ORCID: 0000-0003-4109-8406 e-mail: umar-vahidov@mail.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***А.А. Аникин**

ORCID: 0000-0003-0368-4199 e-mail: anikin.zvm@mail.ru

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
*Нижний Новгород, Россия***С.А. Коростелев**

ORCID: 0009-0003-1382-5589 e-mail: korsan73@mail.ru

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
Барнаул, Россия

Представлены результаты статистического анализа вероятности потери подвижности специальной техники, эксплуатируемой в районах Крайнего Севера. Показаны отличия последствий возникновения неисправностей в обычных и экстремальных условиях эксплуатации. Приведены данные о вероятности срока эксплуатации специальной техники при возникновении и выявлении различных отклонений в параметрах работы машины, а также ее отдельных узлов и механизмов. Выделены основные типы неисправностей, которые могут привести к потере работоспособности техники на маршруте, ее полной утрате, а также созданию угрозы жизни и здоровью людей. По данному критерию выполнена классификация причин выхода из строя специальной техники, выявлены наиболее опасные нарушения работы машин, вероятность потери подвижности которой на маршруте наиболее высока.

Ключевые слова: специальные машины, критические и некритические неисправности, статистический анализ, классификация, условия эксплуатации.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Лелиовский, К.Я. Классификация неисправностей специальной техники, работающей на Крайнем Севере / К.Я. Лелиовский, Ю.И. Молев, А.Р. Хамитов, У.Ш. Вахидов, А.А. Аникин, С.А. Коростелев // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2024. № 3. С. 97-107. EDN: RZBGHT

CLASSIFICATION OF MALFUNCTIONS OF SPECIAL EQUIPMENT OPERATING IN THE FAR NORTH

K.Ya. Leliiovskij

ORCID: **0000-0003-0962-3303** e-mail: **kleliiovskiy@mail.ru**
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

Y.I. Molev

ORCID: **0000-0002-0429-4590** e-mail: **moleff@yandex.ru**
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

A.R. Khamitov

ORCID: **0009-0003-6736-6461** e-mail: **KhamitovAR@alrosa.ru**
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

U.Sh. Vakhidov

ORCID: **0000-0003-4109-8406** e-mail: **umar-vahidov@mail.ru**
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

A.A. Anikin

ORCID: **0000-0003-0368-4199** e-mail: **anikin.zvm@mail.ru**
Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev
Nizhny Novgorod, Russia

S.A. Korostelev

ORCID: **0009-0003-1382-5589** e-mail: **korsan73@mail.ru**
Altai State Technical University n.a. I.I. Polzunov
Barnaul, Russia

Abstract. The paper presents the results of a statistical analysis of the probability of loss of mobility of special equipment operated in the Far North. The differences between the consequences of malfunctions in normal and extreme operating conditions are shown. The data on the probability of the service life of special equipment in the event of the occurrence and identification of various deviations in the parameters of the machine, as well as its individual components and mechanisms, are presented. The main types of malfunctions that can lead to loss of operability of equipment on the route, its complete loss, as well as the creation of a threat to human life and health are highlighted. According to this criterion, the classification of the causes of failure of special equipment was carried out, the most dangerous violations of the operation of machines were identified, the probability of loss of mobility of which is the highest on the route.

Key words: special machines, critical and non-critical faults, statistical analysis, classification, operating conditions.

FOR CITATION: K.Ya. Leliiovskij, Y.I. Molev, A.R. Khamitov, U.Sh. Vakhidov, A.A. Anikin, S.A. Korostelev. Classification of malfunctions of special equipment operating in the far north. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2024. № 3. Pp. 97-107. EDN: RZBGHT

Введение

Добыча и переработка полезных ископаемых в настоящее время остаются ведущими отраслями экономики нашей страны. Сейчас не имеется никаких предпосылок к снижению

спроса на данную продукцию, поэтому можно предположить, что в ближайшее время нас ждет разведка и разработка все новых и новых месторождений [1]. Характер распределения залежей полезных ископаемых свидетельствует, что большинство природных ресурсов расположено в труднодоступных районах, особенно на Крайнем Севере [2].

Интенсивное развитие данного региона началось в конце 1950-х – начале 1960-х гг., и с тех пор антропогенная нагрузка на земли Крайнего Севера только увеличивается. Особенностью данного региона является то, что он находится в зоне расположения вечномёрзлых грунтов, глубина которых колеблется от 50 м в районе Мурманска, до 900 м в районе Диксона [3]. Сезонное оттаивание данных грунтов, имеющее место в летний период, приводит к тому, что вода не просачивается вниз и происходит заболачивание поверхности движения специальной техники. В результате данного процесса оказывается, что движение в зимний период по снегу является экономически целесообразнее, чем движение по обводненному грунту [4, 5]. Также необходимо учитывать и экологический вред, наносимый вездеходной техникой окружающей среде, так как короткое лето не позволяет быстро нарастить поврежденную биомассу и устранить нанесенные повреждения. Поэтому, хотя в РФ действующее законодательство не запрещает использовать внедорожную технику в летний и весенне-осенний периоды (регионы могут установить только запрет на движение вездеходов по оленьим пастбищам), основные виды транспортных работ проводятся в зимний период [5].

Таким образом, специфика эксплуатации вездеходной техники в районах Крайнего Севера подразумевает основной объем эксплуатации в зимний период при температурах ниже -40°C , при скорости ветра до 20 м/с и в условиях полярной ночи [7, 8]. Кроме того, разреженность населения приводит к тому, что длина среднего рейса вездеходной техники на 50-100 % больше чем в регионах Центральной России [9]. В данных условиях любая потеря подвижности машины в результате аварии или поломки создает угрозы для жизни находящихся в машине людей. Распространенный в настоящее время метод формирования колонны машин, позволяющей эвакуировать людей приводит к удорожанию перевозки, что является определенной платой за безопасность персонала. Также следует отметить, что более-менее квалифицированный ремонт поврежденной техники под открытым небом в темное время при экстремально низких температурах является трудозатратным мероприятием. Эвакуация машины так же является дорогостоящим мероприятием, в котором надо задействовать более тяжелую технику. Кроме того, такая эвакуация возможна только до вмерзания машины в опорную поверхность. В силу всего перечисленного, вышедшая из строя техника остается на месте происшествия, так как ремонт и эвакуация обходится собственнику дороже новой техники. Поэтому классификация неисправностей специальной техники, работающей на Крайнем Севере, необходимая для того, чтобы установить приоритет и объем диагностических работ перед выпуском специальной техники в рейс, является актуальной научной задачей.

Методы

Для решения поставленной задачи было проведено статистическое исследование по выявлению частоты возникновения неисправностей специальных машин, работающих на Крайнем Севере, причин их возникновения и скорости их прогрессирования от возникновения до ситуации при которой эксплуатация техники становится невозможной. Данные по вопросам производства внедорожной техники были предоставлены ООО «Трансмаш», по вопросам эксплуатации – СТ «Алмазавтоматика» АК «АЛРОСА» (ПАО), а по вопросам причин возникновения неисправности и скорости их развития – ЦБДДиТЭ НГТУ. В результате обработки представленного материала было установлено, что в 75-80 % случаев причиной утраты техники на маршруте явились не технические неисправности, а неправильный выбор траектории движения, который приводил либо к опрокидыванию техники, либо к ее затоплению. Основными техническими неисправностями, приведшими к потере подвижности машин, стали: неработоспособность двигателя – 40 %, повреждение деталей трансмиссии – 45 %, хо-

довой части 10 %; иные – 5 % (табл. 1). Причины возникновения неисправностей определялись с использованием нормативных справочников [10-13].



Рис. 1. Примеры брошенной техники [<https://sun9-19.userapi.com>] [<https://a.d-cd.net/>]

Fig. 1. Examples of abandoned equipment [<https://sun9-19.userapi.com>] [<https://a.d-cd.net/>]

Как видно из приведенных результатов, все неисправности специальной техники можно разделить по степени опасности, с точки зрения возможности потери подвижности на маршруте. К неопасным неисправностям следует отнести те, с возникновения которых до потери подвижности проходит более 20 моточасов работы, так как в этом случае возникшая неисправность позволяет пройти заданный маршрут без потери техники. Также не представляют опасности неисправности проявляющиеся в момент возникновения (с пробегом от момента возникновения до потери подвижности равным 0 моточасов), так как такая техника не сможет выйти на маршрут. Среднюю опасность представляют неисправности, между возникновением которых и потерей подвижности проходит от 10 до 20 моточасов, так как времени развития таких неисправностей обычно хватает для завершения маршрута. Наибольшую же опасность представляют неисправности, между возникновением которых и потерей подвижности проходит при пробеге отличным от 0 до 20 моточасов. Возникновение такой неисправности возможно в любой момент времени.

Таблица 1.
Основные типы неисправностей
приведших к утрате специальной техники, работающей на Крайнем Севере

Table 1.
The main types of malfunctions that led to the loss
of special equipment operating in the Far North

№ п/п	Наименование неисправности	Общее кол-во	%	Пробег от возникновения неисправности до потери подвижности, моточасов		Степень опасности неисправности
				min	max	
1	Разрушение деталей в следствие внутреннего металлургического дефекта	25	12,5	1	25	Опасно в начале эксплуатации
2	Разрушение подшипников (нарушение соосности)	75	32,5	1	10	Опасно
3	Нарушение регулировки подшипников (с заклиниванием вала и иногда с возгоранием)	4	2	0	0	Не опасно
3	Недостаток масла в двигателе (некачественное масло, попадание забортной воды)	39	18,5	0	5	Опасно
4	Недостаток масла в агрегатах трансмиссии (некачественное масло, попадание забортной воды)	9	4,5	10	30	Средне опасно
5	Попадание инородных предметов в двигатель	3	1,5	0	1	Средне опасно
6	Попадание инородных предметов в агрегаты трансмиссии (в том числе фрагментов разрушения зубьев)	5	2,5	0	30	Опасно
7	Неисправности работы топливной системы (нарушение регулировки форсунок)	10	5	1	20	Опасно
8	Возгорание при разгерметизации топливной системы	2	1	0	20	Средне опасно
9	Возгорание при нарушении в работе электропроводки	5	2,5	0	5	Средне опасно
10	Износ зубьев шестерен	3	1,5	20	50	Не опасно
11	Разрушение узлов ходовой части	5	2,5	0	20	Средне опасно
12	Прочие неисправности	10	5	0	30	Средне опасно



Рис. 2. Пример неисправности, приведшей к полной утрате подвижности техники при одновременном обрыве болтов крепления колеса

Fig. 2. Example of a malfunction that resulted in a complete loss of mobility of the equipment with simultaneous breakage of the wheel mounting bolts



Рис. 3. Пример неисправности, приведшей к полной утрате подвижности техники при неисправных форсунках

Fig. 3. Example of a malfunction that resulted in a complete loss of mobility of the equipment due to faulty injectors



Рис. 4. Пример неисправности, приведшей к полной утрате подвижности техники при возгорании при разгерметизации топливной системы и замыкании диодов генератора

Fig. 4. Example of a malfunction that led to a complete loss of mobility of equipment during a fire due to a depressurization of the fuel system and a short circuit of the generator diodes



Рис. 5. Пример неисправности, приведшей к полной утрате подвижности техники при разрушении гусеницы вследствие установки при ремонте зубчатого сектора с несоответствующим шагом

Fig. 5. Example of a malfunction that resulted in a complete loss of mobility due to the destruction of a track due to the installation of a toothed sector with an inappropriate pitch during repairs

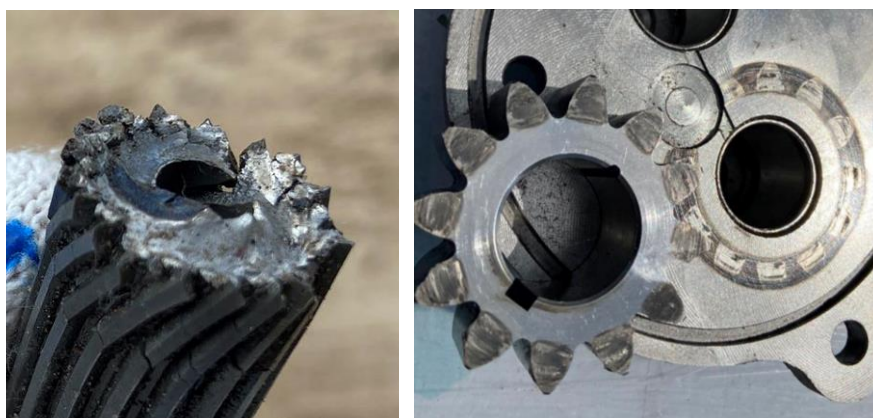


Рис. 6. Пример неисправности, приведшей к полной утрате подвижности техники при разрушении гусеницы вследствие установки при ремонте зубчатого сектора с несоответствующим шагом

Fig. 6. Example of a malfunction that resulted in the complete loss of mobility of the equipment

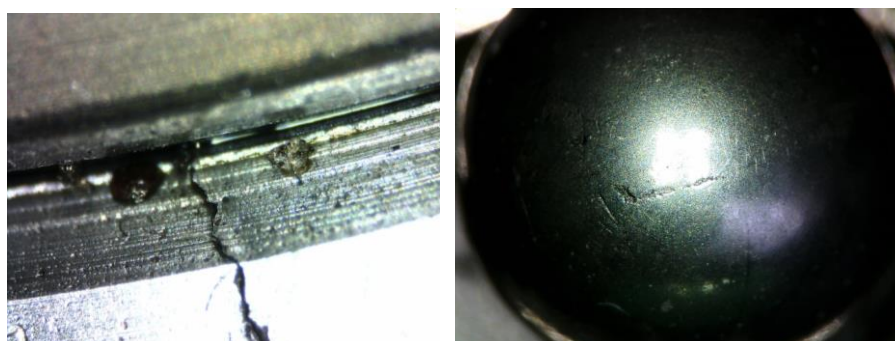


Рис. 7. Пример неисправности подшипников, не приведшей к утрате подвижности техники

Fig. 7. An example of a bearing failure that did not result in the loss of mobility of the equipment

Предлагаемое техническое решение

Полученные данные однозначно свидетельствуют о том, что подавляющее большинство неисправностей приходится на начало эксплуатации специальной техники после покупки, хранения или ремонта [14, 15]. При этом наиболее часто выходят из строя вновь установленные детали, имеющие производственные дефекты, а также детали, установленные от другой техники, не имеющей точного совпадения по основным характеристикам. Значительное количество возникающих неисправностей связано с нарушением технологии установки. На основании данных, представленных в табл. 1 был получен график возникновения неисправностей, приводящих к утрате подвижности техники в зависимости от времени наработки после ввода в эксплуатацию, снятия с хранения или после ремонта. Общий вид данного графика приведен на рис. 8. Регрессионная зависимость, связывающая вероятность возникновения отказа от времени наработки, будет иметь вид:

$$\Omega = 64,35e^{-0,51T},$$

где Ω – вероятность возникновения отказа, а T – время наработки.

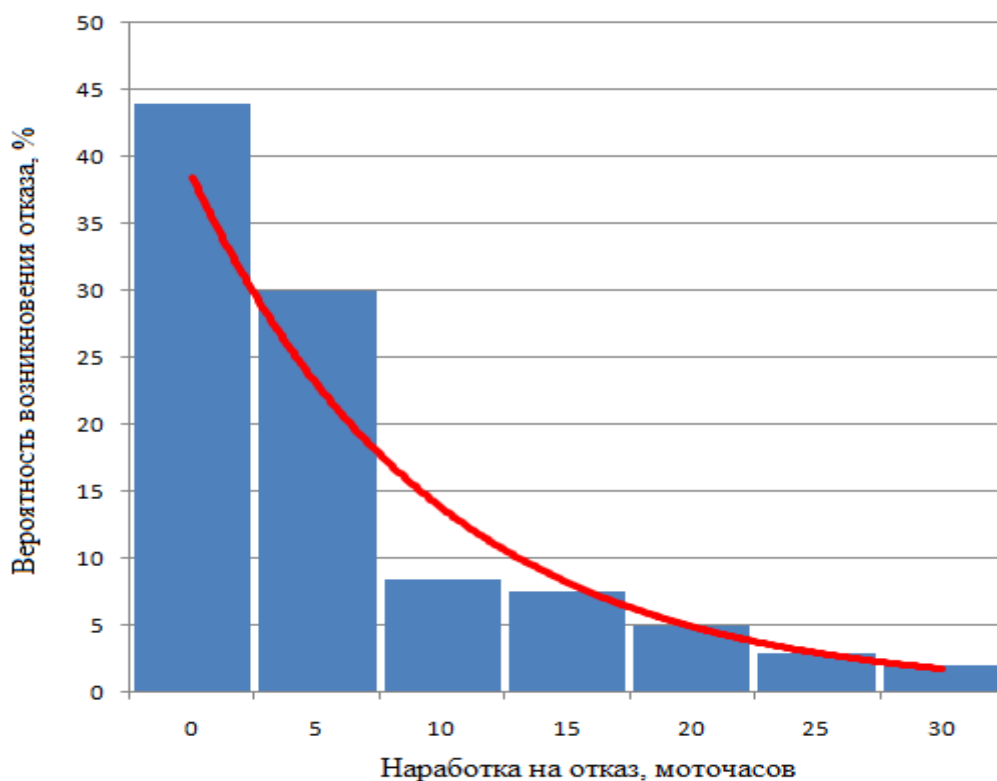


Рис. 8. Уменьшение вероятности возникновения отказа, приведшего к полной утрате подвижности специальной техники, работающей в условиях Крайнего Севера, от времени наработки

Fig. 8. Reducing the probability of failure resulting in complete loss of mobility of special equipment operating in the Far North, depending on the operating time

Считая, что средняя наработка специальной техники составляет около 1000 моточасов в год, а общий ресурс – 10 лет получим, что один моточас использования техники эквивалентен 0,01 % стоимости машины [16]. При этом из-за технических проблем утрачивается не более 2 % единиц техники в год (10 % техники с учетом ошибок в выборе траектории движения). Поэтому экономически обоснованный объем обкатки техники, вводимой в эксплуатацию может быть получен из графика, приведенного на рис. 9.

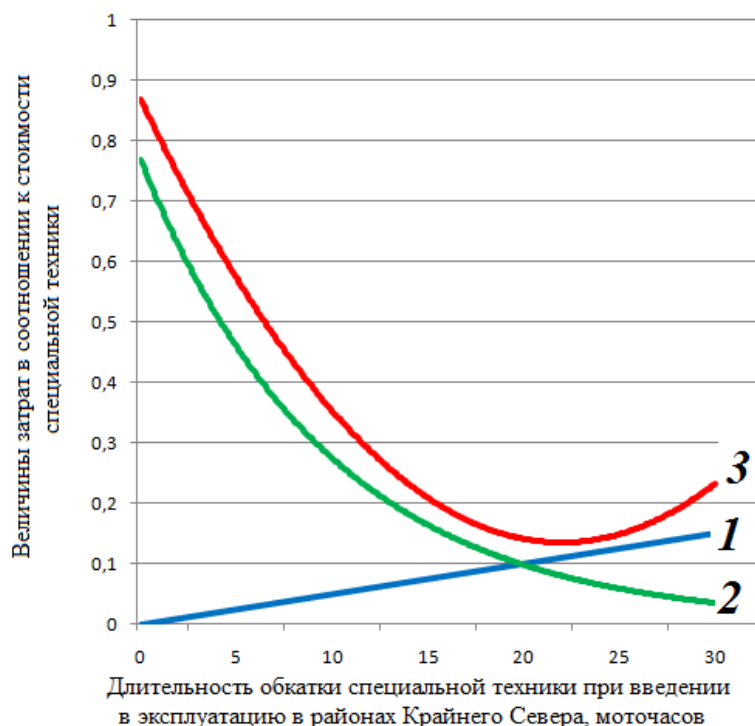


Рис. 9. Изменение себестоимости обкатки специальной техники и затрат на приобретение новой техники от времени наработки

Fig. 9. Change in the cost of running-in special equipment and the cost of purchasing new equipment depending on the operating time

Полученные данные однозначно свидетельствуют, что в условиях Крайнего Севера перед вводом специальной техники в эксплуатацию экономически целесообразно проводить обкатку длительностью 20-25 моточасов. Следует отметить, что, исходя из результатов исследования после обкатки рациональной длительности (табл. 1), существует возможность наличия таких среднеопасных неисправностей, как использование некачественного трансмиссионного масла (в том числе при попадании в него забортной воды), а также попадание инородных предметов в агрегаты трансмиссии (в том числе, фрагментов разрушения и выкрашивания зубьев). При этом, если качество заливаемого трансмиссионного масла можно обеспечить путем проведения лабораторных исследований до его закупки, количество залитого масла и наличие в нем эмульсии, свидетельствующее о попадании забортной воды, проверяется при ежедневном техническом обслуживании, то определение повреждения зубьев в агрегатах трансмиссии возможно только при проведении вибродиагностики [17, 18].

Известно, что на начальной стадии выкрашивания дефект зубчатой передачи практически не влияет на изменение вибрационных параметров зубчатой передачи. Так же такие повреждения и не представляют опасности для потери подвижности специальной техники, работающей в условиях Крайнего Севера. При увеличении объема выкрашивания зубьев увеличиваются размеры фрагментов, которые при попадании в зону зубчатого зацепления приводят к разрушению корпуса агрегата трансмиссии с потерей подвижности. поэтому появление местных увеличений амплитуд вибрации, свыше 20-35 % их общего уровня в диапазонах частот от 0 до 3 кГц можно считать диагностическим признаком наличия выкрашивания зубьев. В связи с этим можно сделать заключение о том, что выявление вибросигнала дефектной пары шестерен вблизи ее собственной частоты является информативным признаком присутствия трещин сколов и поломок.



Рис. 10. Начальная и конечная стадии выкрашивания зубьев шестерен

Fig. 10. Initial and final stages of gear tooth chipping

Выводы

Проведена классификация неисправностей специальной техники, работающей на Крайнем Севере, по критерию степени опасности утраты машины при выполнении операций в отрыве от базовой станции. Все неисправности были отнесены к трем группам: неопасные, средней опасности и опасные. К неопасным неисправностям приравнены те, от возникновения которых до потери подвижности проходит более 20 моточасов работы, так как в этом случае возникшая неисправность позволяет пройти заданный маршрут без потери техники. Также не представляют опасности неисправности, проявляющиеся в момент возникновения (с пробегом от момента возникновения до потери подвижности равным 0 моточасов), поскольку такая техника не сможет выйти на маршрут. Среднюю опасность представляют неисправности, между возникновением которых и потерей подвижности проходит от 10 до 20 моточасов, так как времени развития таких неисправностей обычно хватает для завершения маршрута. Наибольшую же опасность представляют неисправности, время между возникновением которых и потерей подвижности проходит при пробеге отличном от 0 до 20 моточасов. Возникновение такой неисправности возможно в любой момент времени нахождения машины на маршруте.

Получены зависимости возникновения неисправностей, приводящих к утрате подвижности техники в зависимости от времени наработки после ввода в эксплуатацию, снятия с хранения или после ремонта. Установлено, что 95 % таких неисправностей в условиях Крайнего Севера проявляется в первые 20 моточасов работы. На основании полученных результатов предложено производить в период данного времени обкатку вводимых в эксплуатацию машин после ремонта или стоянки, без удаления от ремонтной базы. Возникновение оставшихся 5 % неисправностей следует предупреждать не только контролем уровня масла, но и проверкой его состава органолептическим методом для определения наличия в нем воды, а также вибродиагностическим контролем увеличения амплитуд вибрации, свыше 20-35 % их общего уровня в диапазонах частот от 0 до 3 кГц, что является диагностическим признаком наличия выкрашивания зубьев.

Библиографический список

1. **Коробейников, А.Ф.** Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов / А.Ф. Коробейников. – Томск: Томский политехнический университет, 2012. – 255 с.
2. Месторождения полезных ископаемых: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Горное дело» по специальностям «Подземная разработка полезных ископаемых», «Обогащение полезных ископаемых» / В.А. Ермолов [и др.]. – М.: Горная книга, 2007. – 570 с.
3. Национальный атлас России: в 4-х томах / А.Д. Думнов, А.А. Кирсанов, Е.А. Киселева [и др.]. Том 2. – Москва: ПКО «Картография», 2007. – 496 с.

4. Исследование взаимодействия двигателей различных конструкций для экологически чистых вездеходных транспортных средств, предназначенных для эксплуатации на слабонесущих грунтах: Отчет о НИР / ФГУП НИЦИАМТ: Руководитель В.И. Котляренко; Арх. № А 9205. Дмитров, 2007. 55 с.
5. **Агейкин, Я.С.** Пройодимость автомобиля / Я.С. Агейкин. – М.: Машиностроение, 1981. – 231 с.
6. **Usenyuk, S.** Proximal design: Users as designers of mobility in the Russian North / S. Usenyuk, S. Huysalo, J. Whalen // Technology and Culture. 2016. Vol. 57, № 4. P. 866-908.
7. **Бардышев, О.А.** К вопросу об организации эксплуатации строительной техники в условиях Севера / О.А. Бардышев, В.А. Попов // Строительные и дорожные машины. 2021. № 10. С. 6-11.
8. **Андросов, П.В.** Специфика эксплуатации в условиях Крайнего Севера технологических машин и оборудования // Теория и практика современной науки. 2022. № 8(86). С. 28-36.
9. **Егорова, Т.П.** Взаимовлияние качества жизни и транспортной подвижности населения в северных регионах России / Т.П. Егорова, Э.И. Пантилов // Заметки ученого. 2022. № 11. С. 101-106.
10. РД 50-672-88 Методические указания. Расчеты и испытания на прочность. Классификация видов изломов металлов. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. – 19 с.
11. Повреждения подшипников качения и их причины – СПб.: SKF AB, 2002. – 47с.
12. Повреждение поршней. Как выявить и устранить их. – GmbH: MS Motor Service International 2010. – 92с.
13. **Васин, О.В.** Атлас дефектов. Научно-технический сборник / О.Е. Васин, В.М. Югай, Р.А. Садридинов и др. – Екатеринбург, 2008. – 56 с.
14. Влияние наработки на технико-экономические показатели строительных и дорожных машин / А.Н. Максименко, Д.Ю. Макацария, В.В. Кутузов [и др.] // Грузовик. 2007. № 2. С. 32-36.
15. **Бояршинов, А.Л.** Прогнозирование надежности двигателя ЯМЗ-240н при эксплуатации в северных условиях: специальность 01.02.06 «Динамика, прочность машин, приборов и аппаратуры»: автореферат дисс. ... канд. техн. наук / Бояршинов Анатолий Леонидович. – Якутск, 2000. – 18 с.
16. **Максименко, А.Н.** Эксплуатация строительных и дорожных машин: учеб. пособие для студентов вузов / А.Н. Максименко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 391 с.
17. **Скворцов, А.А.** Разработка методики виброакустической оценки дефектов ведущих мостов легковых автомобилей для бортовой системы диагностирования агрегатов трансмиссии: специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины»: автореферат дисс. ... канд. техн. наук / Скворцов Антон Алексеевич. – Ижевск, 2015. – 22 с. – EDN ZPTBRH.
18. **Лелиовский, К.Я.** Разработка методики виброакустической оценки нагруженности и дефектов коробок передач колесных машин: специальность 05.05.03 «Колесные и гусеничные машины»: автореферат дисс. ... канд. техн. наук / Лелиовский Константин Ярославич. – Нижний Новгород, 2008. – 19 с.

*Дата поступления
в редакцию: 04.03.2024*

*Дата принятия
к публикации: 05.07.2024*