

АНАЛИЗ ГОРНТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ, СНИЖАЮЩИХ МОТОРЕСУРС ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСОК, НА ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ РОССИИ

Ботян Е.Ю., Лавренко С.А., Королев И.А.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург

Ключевые слова: экскаваторно-самосвальный комплекс, карьерный автосамосвал, транспортная система, грузоподъемность самосвала, уклон технологической трассы, контроль загрузки, система мониторинга, поддержание коэффициента трения качения, сверхнормативная нагрузка.

Аннотация. В настоящее время спрос на железную руду растет с каждым годом. В этой связи поиск эффективных решений по повышению эффективности эксплуатации карьерных автосамосвалов, как ключевого звена в технологической цепочке по ее добыче, является актуальной задачей. Известно, что подвеска карьерных автосамосвалов является узлом с наибольшей частотой отказов, что негативно влияет на надежность этого типа техники. Основной группой факторов, приводящих к снижению наработки до отказа этого узла, являются осложненные горнотехнические условия эксплуатации машин. В исследовании установлены пять наиболее значимых факторов, приводящих к снижению моторесурса подвески, а также представлены причины их возникновения и наиболее распространенные последствия. Для технологических трасс Ковдорского и Качканарского горно-обогатительных комбинатов представлено влияние совокупностей отдельных факторов на среднюю наработку до отказа подвесок карьерных автосамосвалов одинаковой модели, в результате чего был установлен фактор, оказывающих наибольший негативный эффект.

ANALYSIS OF MINE AND TECHNICAL OPERATIONAL CONDITIONS OF DUMP TRUCKS EXPLOITATION REDUCING THE SUSPENSION SERVICE LIFE IN THE IRON ORE DEPOSITS OF RUSSIA

Botyan E.Yu., Lavrenko S.A., Korolev I.A.

Empress Catherine II Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: excavator-dumping complex, quarry dump truck, transportation system, dump truck capacity, slope of technological route, loading control, monitoring system, maintenance of rolling friction coefficient, overload.

Abstract. Currently, the demand for iron ore is growing every year. In this regard, the search for effective solutions to improve the efficiency of operation of dump trucks as a key link in the technological chain in its production is an urgent task. It is known that the suspension of dump trucks is the node with the highest failure rate, which negatively affects the reliability of this type of equipment. The main group of factors leading to a decrease in operating time to failure of this node are complicated mining conditions of operation of machines. The study identified the five most significant factors leading to a decrease in the suspension life, as well as the causes of their occurrence and the most common consequences. For the technological routes of the Kovdorsky and Kachkanarsky mining and processing plants, the influence of aggregates of individual factors on the average operating time to failure of suspensions of dump trucks of the same model is presented, as a result of which the factor having the greatest negative effect was established.

Введение. За последние 10 лет спрос на железорудную продукцию в мире увеличился на 41% [1-2], что нашло отражение среди ведущих горнодобывающих компаний в России – ими были разработаны и запущены масштабные проекты по увеличению объемов добычи железной руды [3]. Например, начало отработки залежей Собственно-Качканарского месторождения (СКМ) Качканарского горно-обогатительного комбината (КачГОК) в Свердловской области [4, 5], вскрытие и доработка горизонтов рудного тела с -262 м до -388 м открытым способом карьера рудника «Железный» Ковдорского горно-обогатительного комбината (КовГОК) в Мурманской области и т.д. [6]. При этом каждая из профильных горнодобывающих компаний в России в последние годы реализовывала масштабные проекты по модернизации текущих мощностей. Для реализации описанных выше проектов при формировании экскаваторно-автосамосвальных комплексов началась эксплуатация машин

радикально большего класса: объем ковша выемочной техники увеличился с 5-8 м³ до 16-18 м³, а грузоподъемность самосвалов выросла с 30-55 т до 220 т [7].

Не случайно одним из ключевых направлений технологической базы послужили карьерные автосамосвалы. Именно они являются основным видом транспортных машин на открытых горных работах. На долю основной выполняемой ими функции – транспортирования руды приходится в среднем 55% от общей доли расходов в структуре себестоимости добычи железной руды [8]. Необходимо отметить тот факт, что в современном мире основной тенденцией развития механизации в горном деле является отход от традиционного способа увеличения добычи полезного ископаемого, т.е. только роста линейных мощностей (простого увеличения числа единиц машин в парке техники), в сторону повышения эффективности эксплуатации техники, за счет чего становится возможным при меньшем количестве единиц техники выполнять тот же объем работ, тем самым снижается себестоимость добычи полезного ископаемого. В этой связи, поиск путей рационализации эксплуатации карьерных автосамосвалов приобретает особую важность.

Материалы и методы исследований. На предприятиях горной отрасли, ведущих отработку месторождений открытым способом, горнотехнические условия эксплуатации техники могут значительно варьироваться, даже в рамках одного карьера, что негативно влияет на надежность узлов и агрегатов горных машин. При этом наибольшее негативное влияние сказывается на надежности следующих узлов карьерных автосамосвалов с электромеханической трансмиссией:

- несущая рама;
- бортовой редуктор и мотор-колесо;
- двигатель и система управления тяговым электроприводом;
- шины и колеса;
- элементы передней и задней подвесок [9, 10].

Отдельно остановимся на последнем. На долю именно подвесок приходится до 21% от общего числа внезапных отказов [11], что делает параметр потока отказов именно этого узла наибольшим. Следовательно, анализ влияния горнотехнических условий эксплуатации на элементы подвесок является основной задачей при решении поставленной цели повышения эффективности эксплуатации карьерных автосамосвалов.

Рассмотрим подробнее основные причины, приводящие к снижению надежности элементов подвесок, на примере двух месторождений, представленных выше.

1. Давность ввода в эксплуатацию транспортных выработок

Для карьера «Северный» КачГОКа съезды проектировались и строились с шириной, рассчитанной исходя из функционирования на них автосамосвалов со значительно меньшими габаритными размерами, чем те, которые стали использоваться в дальнейшем [12]. Помимо очевидного снижения пропускной способности, это приводит к увеличению аварийной опасности, из-за чего снижаются радиусы поворотов (рис. 1), то есть увеличивается крутизна на криволинейных участках, что приводит в неравномерности нагрузок только левой или правой пары подвесок, что может существенно снижать ресурс их элементов.



Рис. 1. Поворот технологической трассы на карьере «Северный» КачГОКа с малым радиусом

2. Существенная разница между величинами продольных уклонов соседних съездов

Ситуация характерная для большинства железорудных месторождений в РФ, когда при ведении выемочных работ на нижнем горизонте рудное тело расположено под малым углом (в нередких случаях – субгоризонтально) к поверхности, но при вскрытии нового горизонта начинается производиться отработка его крутопадающего бока со значительным углом падения, что характерно для рудной залежи СКМ КачГОКа [13]. Это приводит к резкому увеличению продольного уклона сначала вскрывающей выработки, а в дальнейшем съезда, что может значительно увеличивать руководящий уклон всей технологической трассы, что негативно влияет преимущественно на заднюю пару подвесок карьерных автосамосвалов для карьеров, где движение транспортной техники в груженом состоянии происходит снизу вверх, а для карьеров, где грузопоток осуществляется сверху вниз (нагорного типа) – переднюю.

3. Выбор материала верхнего дорожного слоя, не обеспечивающий поддержание установленного коэффициента трения качения

Несмотря на то, что борта и уступы карьеров по добыче железной руды сложены преимущественно скальными породами (коэффициент крепости от 6 до 12 по шкале Протодяконова) и вопрос устойчивости земляного полотна ставится относительно редко [14, 15], основные проблемы возникают непосредственно с дорожной одеждой, чаще всего это недостаточно частое проведение планировочных работ и выбор нерационального материала для его отсыпки. Последнее в большей степени касается технологических трасс транспортирования горной масс КовГОКа (рис. 2), где в качестве материала для формирования верхнего дорожного слоя использовались предварительно измельченные вскрышные породы без разделения по крупности фракций.

Это приводило к неудовлетворительному технологическому состоянию технологических трасс транспортирования на карьере. Так как при описанных условиях эксплуатации подвески компенсируют хаотично возникающие внешние нагрузки, их ресурс значительно снижается.

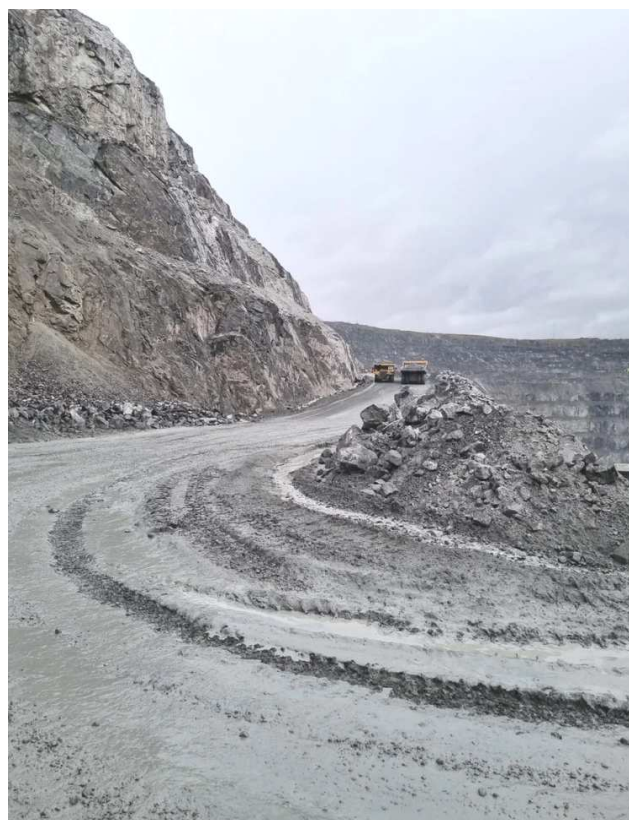


Рис. 2. Неудовлетворительное качество дорожного слоя участка технологической трассы транспортирования на КовГОКе

4. Несоблюдение рекомендаций завода-изготовителя по загрузке кузова

Одной из ключевых технических характеристик карьерного автосамосвала является его номинальная грузоподъемность. При этом завод-изготовитель машин выпускает рекомендации для предприятий-эксплуатантов, регламентирующие размещение горной массы в кузове (точки погрузки в зависимости от физико-механических характеристик груза) и стратегии по контролю веса груза в кузове. Нарушение любой из рекомендаций влечет за собой дополнительные нагрузки на соответствующую подвеску. В частности, на КовГОКе примерно 75% рейсов осуществляются с превышением нормативной грузоподъемности, а 40% рейсов совершаются с нарушениями паспорта погрузки, что приводит к нерациональной геометрии шапки насыпного груза, что приводит к сверхнормативной нагрузке на подвески и, как следствие, снижается их надежность.

5. Недостаточная квалификация оператора

Подобная причина в той или иной мере встречается повсеместно. К наиболее частым ошибкам оператора относят выбор нерационального угла поворота, скорости движения на участке и т.д. Очевидно, что режимы работы карьерных автосамосвалов, отличные от установленных паспортом ведения горных работ, могут приводить к отказам их узлов и агрегатов, в частности элементов подвесок карьерных автосамосвалов.

Таким образом, проведя анализ основных горнотехнических факторов, оказывающих негативное влияние на надежность элементов подвесок карьерных самосвалов при их эксплуатации, установим влияние совокупностей негативных факторов на среднюю наработку до отказа подвесок карьерных автосамосвалов БЕЛАЗ 75131, эксплуатирующихся на КачГОКе и КовГОКе (табл. 1).

Табл. 1. Влияние горнотехнических условий эксплуатации на среднюю наработку до отказа элементов подвески БЕЛАЗ 75131

| ГОК | Начальный пункт | Конечный пункт | Средняя наработка до отказа подвески, моточас | Номера негативных факторов |
|--------------|-----------------|------------------------------------|---|----------------------------|
| Ковдорский | Гор. -262 м | Дробильный комплекс на гор. +301 м | 2139 | 2+3+4 |
| | Гор. -215 м | | 2237 | 2+3+4 |
| | Гор. +141 м | | 2398 | 3+4 |
| Качканарский | Гор. + 350м | Перегр. пункт на гор. + 220 м | 2620 | 1+2 |
| | Гор. +115 м | Перегр. пункт на гор. + 270 м | 2519 | 2 |
| | Гор. +115м | Перегр. пункт на гор. +306 м | 2487 | 2 +4 |

Согласно таблице 1 можно установить, что наибольшее негативное влияние на среднюю наработку до отказа подвесок оказывает выбор материала верхнего дорожного слоя, не обеспечивающего поддержание установленного коэффициента трения качения, что особенно заметно на примере технологических трасс КовГОКа.

Результаты. В ходе проведенных исследований было установлено следующее.

1. На месторождениях, обрабатываемых на КовГОКе и КачГОКе ключевыми факторами, снижающими надежность элементов подвесок, являются значительные сроки ввода в эксплуатацию участков транспортных выработок, значительная разница между их соседними участками, некорректный выбор материала верхнего слоя, пренебрежение регламентами загрузки кузовов автосамосвалов и недостаточностью квалификации водителей.

2. Наиболее значимым фактором, снижающим моторесурс подвесок, является выбор материала верхнего дорожного слоя, не обеспечивающий поддержание установленного коэффициента трения качения, что особенно часто встречается на технологических трассах транспортирования горной массы КовГОКа.

Список литературы

1. Эрикссон М., Лёф А., Лёф О. Обзор мирового рынка железной руды за 2019-2020 годы // Горная промышленность. – 2021. – №1. – С. 74-82. – DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-74-82.
2. Артяева М.А., Пономаренко Т.В. Обзор крупнейших компаний на мировом рынке черных металлов // Социально-экономические явления и процессы. – 2017. – Т. 12, №6. – С. 9-16. – DOI: 10.20310/1819-8813-2017-12-6-9-16.
3. Пономаренко Т.В., Цараков О.И., Акинина И.А., Пикалова Т.А. Оценка стратегического проекта по увеличению производственной мощности Яковлевского рудника ООО «МеталлГрупп» // Записки Горного института. – 2013. – Т. 206. – С. 199-203.
4. Александров В.И., Тимухин С.А., Махараткин П.Н. Энергетическая эффективность гидравлического транспорта хвостов обогащения железной руды на Качканарском ГОКе // Записки Горного института. – 2017. – Т. 225. – С. 330-338. – DOI: 10.18454/PMI.2017.3.330.

5. Александров В.И., Васильева М.А. Гидротранспорт сгущенных хвостов обогащения железной руды на Качканарском ГОКе по результатам опытно-промышленных испытаний системы гидротранспорта // Записки Горного института. – 2018. – Т. 233. – С. 471-480. – DOI: 10.31897/PMI.2018.5.471.
6. Андреева Л.И. Оценка резервов повышения эффективности процесса рудоподготовки в АО "Ковдорский ГОК" // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2019. – №1. – С. 185-192. – DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-185-192.
7. Жилинков А.А., Калянов А.Е., Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А. Обоснование параметров экскаваторно-автомобильных комплексов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 12-1. – С. 44-55. – DOI: 10.25018/0236-1493-2023-121-0-44.
8. Сычев Ю.А., Назарычев А.Н., Дяченко Г.В. Повышение безопасности труда водителей карьерных самосвалов путем снижения риска возникновения отказов функциональных узлов тягового электропривода в условиях эксплуатации // Безопасность труда в промышленности. – 2023. – № 9. – С. 52-58. – DOI:10.24000/0409-2961-2023-9-52-58.
9. Назарычев А.Н., Дяченко Г.В., Сычев Ю.А. Исследование надежности тягового электропривода карьерных самосвалов на основе анализа отказов его функциональных узлов // Записки Горного института. – 2023. – Т. 261. – С. 363–373.
10. Вишняков Г.Ю., Пушкарев А.Е., Ботян Е.Ю., Хлопонина В. С. Обоснование рациональных режимов работы карьерных автосамосвалов при сверхнормативной эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С. 24-37. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_24.
11. Бочкарев Ю. С., Зырянов И. В. Повышение эффективности эксплуатации карьерных автосамосвалов при разработке россыпных месторождений Севера // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 5-2. – С. 80-90. – DOI: 10.25018/0236-1493-2022-52-0-80.
12. Клюев Р.В., Босиков И.И., Егорова Е.В., Гаврина О.А. Оценка горно-геологических и горнотехнических условий карьера «Северный» с помощью математических моделей // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – № 3. – С. 418-427. – DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-418-427.
13. Лель Ю.И., Исаков С.В., Ганиев Р.С., Буднев А.Б., Глебов И.А. К обоснованию параметров крутонаклонных автосъездов при вскрытии глубоких горизонтов кимберлитовых карьеров // Известия вузов. Горный журнал. – 2020. – № 7. – С. 21-33. – DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-21-32.
14. Мустафин М.Г., Валькова Е.О., Вальков В.А. Пути развития маркшейдерско-геодезических наблюдений за устойчивостью бортов карьеров // Маркшейдерский вестник. – 2022. – № 3(148). – С. 13-18.
15. Вальков В.А., Валькова Е.О., Мустафин М.Г. Методика уточнения цифровых моделей рельефа открытых горных выработок по материалам лазерного сканирования и аэрофотосъемки // Маркшейдерия и недропользование. – 2023. – №3(125). – С. 40-52. – DOI: 10.56195/20793332_2023_3_40_52.

References

1. Ericsson M., Löf A., Löf O. Iron ore market report 2019-2020 // Mining Industry. 2021, no. 1, pp. 74-82. DOI: 10.30686/1609-9192-2021-1-74-82.
2. Artyaeva M.A., Ponomarenko T.V. Overview of the largest companies in the world market of ferrous metals // Socio-economic phenomena and processes. 2017, vol. 12, no. 6, pp. 9-16. DOI: 10.20310/1819-8813-2017-12-6-9-16.
3. Ponomarenko T.V., Tsarakov O.I., Akinina I.A., Pikalova T.A. The assessment of the strategic project on increase of capacity of Yakovlevsky mine JSC «Metall-Group» // Journal of Mining Institute. 2013, vol. 206, pp. 199-203.
4. Aleksandrov V.I., Timukhin S.A., Makharatkin P.N. Energy efficiency of hydraulic transportation of iron ore processing tailings at Kachkanarsky MPP // Journal of Mining Institute. 2017, vol. 225, pp. 330-338. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.330
5. Aleksandrov V.I., Vasileva M.A. Hydraulic transportation of thickened tailings of iron ore processing at Kachkanarsky JSC based on results of laboratory and pilot tests of hydrotransport system // Journal of Mining Institute. 2018, vol. 233, pp. 471-480. DOI: 10.31897/PMI.2018.5.471.
6. Andreeva L.I. Assessment of reserves for improving the efficiency of the ore preparation process at Kovdorsky JSC // Mining information and analytical bulletin. 2019, no. 1, pp. 185-192. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-185-192.
7. Zhilinkov A.A., Kalyanov A.E., Komissarov A.P., Lagunova Yu.A. Justification of parameters of excavator and car complexes. Mining information and analytical bulletin. 2023, no. 12-1, pp. 44-55. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_121_0_44.
8. Sychev Yu.A., Nazarychev A.N., Dyachenok G.V. Improving the Labor Safety of Mining Dump Truck Drivers by Reducing the Risk of Failure of the Functional Units of the Traction Electric Drive under Operating Conditions // Occupational Safety in Industry. 2023, no. 9, pp. 52-58. DOI: 10.24000/0409-2961-2023-9-52-58.
9. Nazarychev A.N., Dyachenok G.V., Sychev Y.A. A reliability study of the traction drive system in haul trucks based on failure analysis of their functional parts // Journal of Mining Institute. 2023, vol. 261, pp. 363-373.
10. Vishnyakov G.Yu., Pushkarev A.E., Botyan E.Yu., Khloponina V.S. Justification of rational modes of operation of quarry dump trucks in case of over-normative operation // Mining information and analytical bulletin. 2023, no. 11-1, pp. 24-37. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_24.

11. Bochkaryov Yu.S., Zyryanov I.V. Improving the efficiency of operation quarry dump trucks on placer deposits in the North conditions // Mining information and analytical bulletin. 2022, no. 5-2, pp. 80-90. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_52_0_80.
12. Klyev R.V., Bosikov I.I., Egorova E.V., Gavrina O.A. Assessment of mining-geological and mining technical conditions of the Severny pit with the use of mathematical models // Sustainable development of mountain territories. 2020, no. 3, pp. 418-427. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-3-418-427.
13. Lel Iu.I., Glebov I. A., Budnev A. B., Isakov S. V., Ganiev R. S. Rationale for the parameters of steeply inclined ramps of kimberlite pits deep horizons exposing // News of the Higher Institutions. Mining Journal. 2020, no. 7, pp. 21-32. DOI: 10.21440/0536-1028-2020-7-21-32.
14. Mustafin M.G., Valkova E.O., Valkov V.A. Development paths for surveying geodetic observations of the stability of quarry sides // Surveyor's Bulletin. 2022, no. 3(148), pp. 13-18.
15. Valkov V.A., Valkova E.O., Mustafin M.G. Methodology for refining digital relief models of open-pit mine workings based on laser scanning and aerial photography // Surveying and subsoil use. 2023, no. 3(125), pp. 40-52. DOI: 10.56195/20793332_2023_3_40_52.

Сведения об авторах:

Information about authors:

| | |
|--|--|
| Ботян Евгений Юрьевич – аспирант | Botyan Evgeny Yurievich – postgraduate student |
| Лавренко Сергей Александрович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой практических навыков и опыта | Lavrenko Sergey Aleksandrovich – candidate of technical sciences, head of Department of practical skills and experience |
| Королев Игорь Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения | Korolev Igor Alekseevich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mechanical engineering |
| korolev_ia@pers.spmi.ru | |

Получена 14.02.2024