

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-3-84-93

УДК 622.23.05

**АНАЛИЗ ПРИЧИН РОСТА КОНЦЕНТРАЦИИ СВИНЦА В ОТРАБОТАВШЕМ
МАСЛЕ ДВС КТА 50 КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ БЕЛАЗ 75131,
РАБОТАЮЩИХ ПО ГАЗОДИЗЕЛЬНОМУ ЦИКЛУ**

**ANALYSIS OF THE REASONS FOR THE LEAD CONCENTRATION INCREASE
IN WASTE OIL OF ICE KTA 50 OF BELAZ 75131 GAS-DIESEL
OPEN-PIT DUMP TRUCKS**

Дубов Георгий Михайлович¹,
кандидат технических наук, доцент, e-mail: nikokem@mail.ru
Georgiy M. Dubov¹, C. Sc. in Engineering, Associate Professor
Богомолов Александр Романович^{1,2},
доктор технических наук, доцент, e-mail: barom@kuzstu.ru
Aleksandr R. Bogomolov^{1,2}, Dr. Sc. in Engineering, Associate Professor
Григорьева Елена Анатольевна¹,
старший преподаватель, e-mail: grigorevaea@kuzstu.ru
Elena A. Grigorieva¹, Senior Lecturer
Нохрин Сергей Алексеевич³,
заместитель генерального директора по газификации автотранспорта, e-mail: nsa500@mail.ru
Sergey A. Nokhrin³, Deputy General Director for Gasification of Motor Transport

¹Кузбасский государственный технический университет им Т.Ф. Горбачева,
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo,
650000, Russian Federation

²Институт теплофизики имени С.С. Кутателадзе СО РАН,
630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, д. 1

²Kutateladze Institute of Thermophysics SB RAS, 1, Academician Lavrentyev Prospect, Novosibirsk,
Russian Federation

³ООО «ТехноЭко», 653046, Россия, г. Прокопьевск, ул. Азовская, 11

³«ТехноЕко» LLC, 11 Azovskaya St., Prokopyevsk, Russian Federation

Аннотация:

приводятся сравнительные исследования коррозионных свойств масел, используемых в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) карьерных самосвалов БелАЗ-75131, работающих по газодизельному циклу. Отмечается, что на практике наряду с эффективностью открытой добычи полезных ископаемых имеется и ряд недостатков, среди которых имеют место простои карьерных самосвалов, связанные с выходом из строя их узлов и агрегатов, в том числе и по причине изменения физико-химических свойств моторных масел, которые в процессе работы накапливают в себе металлические примеси продуктов износа и элементов химического взаимодействия масла с поверхностями его соприкосновения (коррозии). В частности, это относится к взаимодействию масла с подшипниками скольжения из баббита. Предположено, что на рост концентрации свинца в отработавшем масле ДВС карьерного самосвала может влиять используемое масло при взаимодействии с вкладышами кривошипно-шатунного механизма, имеющими в своем составе свинец. Приведена методика проведения исследований. Представлены данные по значениям водородного показателя pH-чистых исследуемых масел и их водо-масляных эмульсий. Отмечается, что действие влаги или кислорода воздуха на

различные виды масел одной марки производителя оказывает влияние на образование либо водорастворимых органических кислот, способствующих усилению коррозионного воздействия на свинец или его сплавы, либо на образование щелочных водорастворимых органических соединений, нейтрально действующих на свинец и его сплавы. Этот факт в конечном итоге говорит о том, что масла, используемые в ДВС карьерных самосвалов, обладают различными коррозионными свойствами, влияющими в конечном итоге на содержание вредных примесей в отработанных маслах.

Ключевые слова: карьерный самосвал, газодизельный режим работы, отработавшее масло, свинец, коррозионные свойства.

Информация о статье: поступило в редакцию 13.05.2021

Abstract:

Comparative studies of the corrosion properties of oils used in internal combustion engines (ICE) of BelAZ 75131 gas-diesel open-pit dump trucks are presented. It is noted that in practice, along with the efficiency of opencast mining, there are a number of disadvantages, among which there are downtime of open-pit dump trucks caused by the failure of their components and assemblies, including due to changes in the physical and chemical properties of motor oils, which in the process of work accumulate metal impurities of wear products and elements of the chemical interaction of the oil with its contact surfaces (corrosion). This applies in particular to the interaction of oil with babbitt plain bearings. It is assumed that the increase in the concentration of lead in the waste oil of the internal combustion engine of an open-pit dump truck can be influenced by the interaction of the used oil with the bearing bushings of the crank mechanism, which contain lead. The research technique is presented. The data on the values of the pH of the clean test oils and their water-oil emulsions are presented. It is noted that the effect of moisture or oxygen on various types of oils of the same manufacturer's brand affects the formation of either water-soluble organic acids, which enhance the corrosive effect on lead or its alloys, or the formation of alkaline water-soluble organic compounds that have a neutral effect on lead and its alloys. This fact ultimately suggests that the oils used in the internal combustion engines of open-pit dump trucks have various corrosive properties that ultimately affect the content of harmful impurities in waste oils.

Keywords: open-pit dump truck, gas-diesel operation, waste oil, lead, corrosive properties.

Article info: received May 13, 2021

Актуальность работы

Открытый способ добычи полезных ископаемых занимает лидирующее место в горнодобывающей промышленности благодаря высокой производительности, низким затратам и уровню безопасности. При этом в ближайшее десятилетие первенство будет занимать именно этот метод добычи полезных ископаемых [1]. Несмотря на преимущества, у открытого способа добычи существует и ряд недостатков, одним из которых является большое количество простоев карьерных самосвалов вследствие выхода из строя их узлов и агрегатов. Снижение надежности узлов и агрегатов карьерных самосвалов происходит не только за счет уменьшения их ресурса в процессе эксплуатации за счет износа трущихся поверхностей, но и при изменении физико-химических свойств масел, которые в процессе работы накапливают в себе металлические примеси продуктов износа и химического взаимодействия органической основы масел с материалами поверхностей трения [2, 3, 4].

Для своевременного предупреждения отказа узлов карьерного оборудования на горнодобывающих предприятиях осуществляется анализ отработавшего масла по различным критериям и методикам. Так, например, на разрезах ОАО «УК Кузбассразрезуголь» применяется эмиссионный спектральный анализ масла с помощью многоканальной фотометрической системы МФС-7. Установка при помощи спектрального анализа механических примесей масла осуществляет определение концентраций металлических частиц в нем – продуктов изнашивания деталей (содержание щелочных металлов, Са и Ва – основы моюще-диспергирующих и других присадок к маслам, а также кремния как основы абразивных, самых опасных загрязнений масла) [5].

При транспортировке горной массы в горнодобывающих компаниях наибольшее распространение получили тяжелые карьерные самосвалы БелАЗ с дизельными двигателями внутреннего сгорания. Автопарки горнодобывающих компаний, осуществляющих добычу угля открытым способом, в основном оснащены карьерными самосвалами модели БелАЗ-75131 и их модификациями. Это, очевидно, связано с эффективностью использования данной модели

карьерных самосвалов, имеющей грузоподъемность 130 тонн на разрезах с учетом горно-геологических, экономических и эксплуатационных показателей [6-8].

В настоящее время с учетом все возрастающих экологических требований, предъявляемых к добыче полезных ископаемых открытым способом, а также к повышению ее экономической эффективности реализуются проекты по созданию новой и модернизации имеющейся карьерной техники [9]. Одним из таких проектов является реализованный в Кузбассе проект по модернизации тяжелых карьерных самосвалов БелАЗ-75131 для обеспечения их эксплуатации в газодизельном режиме. На сегодняшний день оснащены криогенными бортовыми топливными системами и успешно эксплуатируются в газодизельном режиме на разрезах Кузбасса около 60-ти карьерных самосвалов БелАЗ-75131 с дизельными двигателями CUMMINS KTA 50 [10-12].

Как показала практика эксплуатации модернизированных карьерных самосвалов БелАЗ-75131, работающих в газодизельном цикле, на некоторых из них при анализе проб отработанного масла из ДВС выросло содержание свинца до 30 г/т и более. Это очевидно негативно сказалось на ДВС карьерных самосвалов. По нормативам браковка моторного масла, например, сервисным центром КАМСС, осуществляется при наличии содержания в отработанном масле ДВС свинца более 10 г/т.

Необходимо отметить, что при эксплуатации двигателей на моторном масле VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40ДВС в нем происходил значительный прирост содержания свинца, но при переходе на масло VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40, также рекомендуемое производителем CUMMINS для использования в двигателях, содержание свинца в масле практически не наблюдалось.

Также необходимо отметить, что результаты исследований сжиженного природного газа (СПГ), используемого в двигателях CUMMINS KTA-50 для замещения части дизельного топлива, показали, что содержание свинца в СПГ не определялось ввиду его отсутствия.

В процессе анализа было сделано предположение, что причиной роста свинца при использовании масла VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40ДВС могут быть его окислительные свойства, вызванные включенными в масло химически активными добавками, включая поверхностно-активные вещества. Взаимодействия химически активных добавок с баббитом поверхностного слоя вкладышей подшипников кривошипно-шатунного механизма повлекли растворение свинцовой составляющей и переход ее в жидкую фазу моторного масла.

Вкладыши кривошипно-шатунного механизма, как правило, имеют небольшой слой баббита, используемого в подшипниках скольжения. Баббиты применяют свинцовые, оловянные по ГОСТ 1320-74 и по ИСО 4383, а также кальциевые по ГОСТ 1209-90. В кальциевых и свинцовых баббитах основным элементом является свинец. Для выявления причин роста массовой доли свинца в отработанном масле VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40 ДВС и исключения всех прочих факторов в процессе исследований вскрывался поддон картера двигателя, осматривались поршневая группа и кривошипно-шатунный механизм. Неисправностей баббитовых вкладышей не было выявлено.

ИСО 4383 устанавливает требования к многослойным материалам для тонкостенных подшипников скольжения. Многослойный материал вкладыша состоит из стальной основы подшипника, подшипникового (верхнего) слоя на оловянной и свинцовой основе (литого, спеченного, накатанного). Возможен верхний слой, нанесенный методом электролитического осаждения. Химический состав стали для вкладышей подшипников устанавливают по согласованию между изготовителем и потребителем. Обычно используют низкоуглеродистые стали. Химический состав подшипниковых сплавов должен соответствовать приведенному в ГОСТ 1320-74 составу, в котором обязательными элементами являются олово и свинец в различных концентрациях.

Верхний слой наносят на подшипниковый слой. Толщину верхнего слоя или любого дополнительного слоя между подшипниковым слоем и верхним слоем устанавливают по согласованию между изготовителем и потребителем. В верхнем слое по ГОСТ 1320-74 основное содержание составляет свинец.

Аксенов А.Ф. указывает, что смазочные масла не должны оказывать коррозионного влияния на материалы деталей двигателя [13]. С другой стороны, проблема коррозии антифрикционных сплавов, применяемых в подшипниках скольжения двигателей внутреннего

сгорания, возникает в связи с широкой заменой оловянного баббита другими сплавами, отличающимися от него более высокой сопротивляемостью усталости и лучшими механическими свойствами, но значительно уступающими ему в противокоррозионной стойкости. Последнее особенно касается таких сплавов, как медно-свинцовый, свинцовистый баббит, а также сплавов на основе кадмия. Наименее устойчива к воздействию содержащихся в маслах коррозионно-агрессивных продуктов свинцовая составляющая сплавов, поэтому коррозионные свойства масел оценивают по свинцу. Коррозионные свойства масел зависят от наличия в них коррозионно-агрессивных компонентов (нафтенных кислот) и от склонности масел образовывать коррозионные агенты в результате окисления (карбоновые и оксикарбоновые кислоты), что определяется групповым химическим составом масла [14].

Учитывая вышесказанное, назрел вопрос о необходимости проведения исследований в области определения коррозионных свойств масел, используемых в ДВС карьерных самосвалов БелАЗ-75131, работающих по газодизельному циклу.

Целью представленной работы являются сравнительные исследования отличительных особенностей масел VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40 и VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40 на предмет их коррозионных свойств.

Методика проведения исследований

Коррозионность является важной эксплуатационной характеристикой смазочных масел. Это требование к качеству моторных масел предъявлено в связи с широким применением в моторостроении легко корродирующих сплавов цветных металлов [15].

Согласно ГОСТ 20502-75 сущность методов определения коррозионных свойств масел заключается в определении изменения массы металлических пластин, подвергшихся периодическому воздействию испытуемого продукта и воздуха, нагретых до температуры 140°C (или до температуры, указанной в нормативно-технической документации на продукты).

Стандарт устанавливает два метода испытания:

1 – для определения коррозионности моторных масел и присадок к ним на приборе ДК-НАМИ;

2 – для определения коррозионности масел и жидкостей, предназначенных для применения в авиационной и специальной технике на аппарате типа АП-1 (аппарат Пинкевича) на металлических пластинках из различных материалов.

Потеря массы пластины до 1 г/м² включительно при проведении испытания без добавления катализатора и до 5 г/м² – в присутствии катализатора (нафтената меди) принимаются за отсутствие коррозии.



Рис. 1. Чистые исследуемые масла VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40 и VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40
Fig. 1. Clean test oils VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40 and VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40

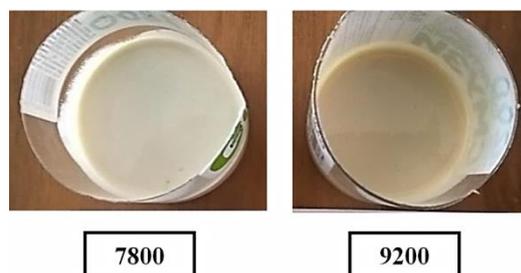


Рис. 2. Водно-масляные суспензии исследуемых масел с индексами 7800 и 9200 в соотношении с водой 50/50% об.
Fig. 2. Water-oil suspensions of the test oils with indices 7800 and 9200 and water ratio 50/50% vol.

Таблица 1. Значения водородного показателя чистых исследуемых масел и их водо-масляных эмульсий, измеренного рН-метром testo 206 при температуре 22-27°C.

Table 1. The values of the pH of the clean test oils and their water-oil emulsions measured with a Testo 206 pH meter at a temperature of 22-27°C.

Наименование	Масла			
	VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40		VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40	
	2020 год	2021 год	2020 год	2021 год
Чистое масло	6,7	6,39	7,0	6,67
Водо-масляная эмульсия	6,4	7,31	7,4	7,28

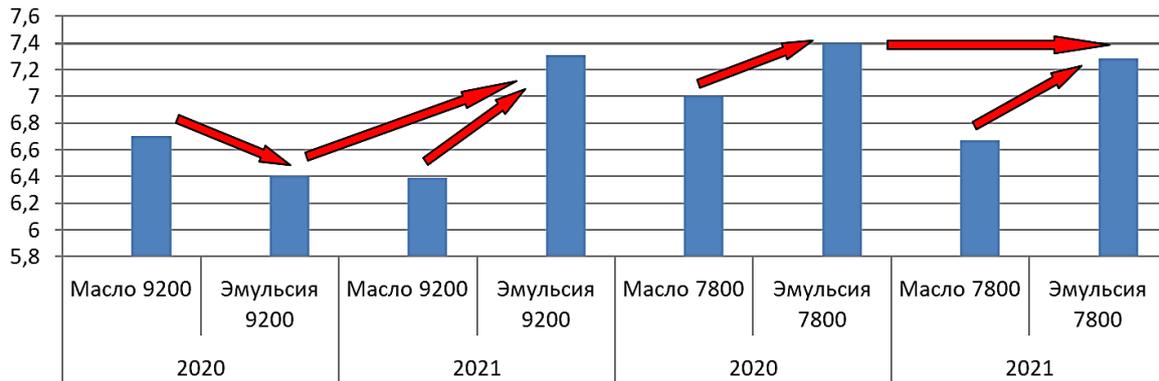


Рис. 3. Значения водородного показателя pH чистых исследуемых масел и их водо-масляных эмульсий

Fig. 3. The pH values of the clean test oils and their water-oil emulsions

ГОСТ 6307-75 распространяется на жидкие нефтепродукты, присадки, пластичные смазки, парафины, церезины, восковые составы и устанавливает метод определения наличия водорастворимых кислот и щелочей в них. Сущность метода заключается в извлечении водорастворимых кислот и щелочей из нефтепродуктов водой или водным раствором спирта и определения величины pH водной вытяжки рН-метром или реакции среды с помощью индикаторов. В ГОСТ 6307-75 отмечено, что если при смешении нефтепродукта с водой образуется эмульсия, то водорастворимые кислоты и щелочи экстрагируют, обрабатывая нефтепродукт спиртовым раствором (1:1), нагретым до 50-60°C (вместо дистиллированной воды).

Действующие стандарты на масла предусматривают требование отсутствия в маслах водорастворимых кислот и щелочей и ограничения содержания, нерастворимых в воде органических кислот. Отсутствие водорастворимых кислот и щелочей в маслах проверяют качественно извлечением водной вытяжки с предварительным подогревом до 70-80°C (по ГОСТ 6307-75). Наличие нерастворимых в воде органических кислот определяют количественно извлечением их из масла, кипящим этиловым спиртом и последующим титрованием спиртовым раствором KOH, необходимым для нейтрализации 1 г масла (ГОСТ 5985-79). Коррозия металлов под действием органических кислот, находящихся в маслах, зависит от количества и свойств этих кислот, а также внешних условий. Коррозионная активность органических кислот очень сильно возрастает при наличии в маслах даже небольшого количества влаги. Находящиеся в смазочных маслах органические кислоты действуют на некоторые цветные металлы и их сплавы значительно более интенсивно, чем на черные.

В представленной работе был использован метод определения коррозионности исследуемых масел VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40 и VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40 по ГОСТ 6307-75 посредством смешивания моторного масла с

дистиллированной водой в соотношении 1:1, но без проведения экстракции водорастворимых кислот и щелочей спиртовым раствором.

Результаты и обсуждение

Согласно ГОСТ 6307-75, если при смешении масла с водой образуется эмульсия, то в масле присутствуют водорастворимые органические кислоты или щелочи. Предполагая, что источником накопления в моторном масле свинца является баббит верхнего слоя вкладышей подшипников, охлаждаемых моторным маслом VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40, которое предположительно может реагировать на состав баббита, было проведено исследование образцов этих масел по водородному показателю. Проводились исследования как чистых масел, так и разбавленных дистиллированной водой, имевшей водородный показатель $pH = 7,0$, путем смешения и перемешивания с получением эмульсии в соотношении 50/50%, об. На рис. 1, 2 представлены исследуемые чистые масла VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40 и VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40 и их водо-масляные суспензии с соответствующими индексами 7800 и 9200.

Визуальные наблюдения показали, что исследуемые чистые масла VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40 (далее 9200) и VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40 (далее 7800) практически не имеют отличий по цвету (рис. 1). Однако водо-масляные эмульсии исследуемых масел имеют видимые различия. Так, водо-масляная эмульсия, подготовленная на основе исследуемого масла VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40, имела бежевый цвет, а водо-масляная эмульсия, подготовленная на основе исследуемого масла VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40, имела очевидный более темный оттенок – коричневый цвет (рис. 2).

В табл. 1 и на рис. 3 представлены полученные значения pH по водородному показателю исходных чистых масел и их водо-масляных эмульсий (суспензий), так и подвергнутых взаимодействию с атмосферным воздухом в течении длительного времени (2/3 года). В первую очередь измерения производились на образцах масел, отобранных из тары завода производителя Cummins в пластиковые банки с герметичным уплотнением (рис. 1). При получении образцов 14.07.2020 г. проводились измерения по водородному показателю как масел двух марок, так и их водо-масляных эмульсий с целью исключения продолжительного влияния воздушной среды на окислительные и диссоциационные процессы масел и эмульсий. После проведения измерений воздушная подушка над исходными маслами в закрытых банках и водо-масляными эмульсиями оставалась над их поверхностью. Далее приготовленные образцы масел и эмульсий хранились до 09.03.2021 г. в стационарном состоянии, затем производились повторные измерения водородного показателя.

Как показали результаты проведенных исследований и как можно наблюдать из данных представленных в табл.1 и на рис. 3, измеренное в 2020 г. pH -значение исходного чистого масла VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40 равно 7,0 и относится к нейтральной среде ($pH = 7,0$). Для масла VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40 водородный показатель равен 6,7, что свидетельствует о кислотной среде этого масла (содержание ионов водорода $[H^+]$ больше, чем гидроксид-ионов $[OH^-]$). Для водо-масляной эмульсии масла VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40 значение pH возрастает с 7,0 до значения 7,4, т.е. взаимодействие с водной средой при создании эмульсии приводит к увеличению основности среды (возрастанию концентрации гидроксид-ионов $[OH^-]$ по сравнению с содержанием ионов водорода $[H^+]$). Для масла VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40 водородный показатель снижается со значения 6,7 до 6,4, т.е. происходит взаимодействие водной среды с маслом в направлении к усилению кислотности среды.

Естественно, что при хранении образцов исследуемых масел и эмульсий в течение 2/3 года без изоляции с контактом воздуха будут происходить окислительные процессы как в чистых маслах, так и в водо-масляных эмульсиях. В связи с этим по истечении этого периода были проведены измерения водородного показателя как чистых масел, подвергнутых воздействию ограниченным объемом воздушной «подушкой» среды, так и водо-масляных эмульсий, взаимодействующих с внешней средой.

Из рис. 3 видно, что у чистого масла 9200 после 2/3 года нахождения над окислительной воздушной «подушкой» в изолированном сосуде водородный показатель снизился с 6,7 до 6,39, т.е. кислотность масла повысилась. Вероятно, происходило образование карбоксильных групп –COOH. Но у эмульсии, поверхность которой контактировала с воздушной средой, за это время произошел рост рН–показателя с 6,4 до 7,31. Вероятно, происходила диссоциация воды в присутствии углеводов масла с образованием анионов OH^- и катионов водорода, присоединение которых происходило к непредельным углеводородам с открытой цепью (алкены, диены и т.п.), а концентрация гидроксид-ионов $[\text{OH}^-]$ возрастала.

Что касается поведения масла 7800 при воздействии окружающей среды, можно отметить, что исходное состояние свидетельствует о нейтральной среде продукта ($\text{pH} = 7,0$). Период воздействия окружающей среды в течение 2/3 года оказал влияние на его водородный показатель. Он снизился от исходного значения до $\text{pH} = 6,67$ при соответственном переходе от нейтральной среды до незначительно кислотной. Вероятно, как и с маслом 9200, происходило образование карбоксильных групп –COOH, что свидетельствует об образовании углеводородных органических кислот с высвобождением ионов H^+ , которые замещались кислородом воздуха. Эмульсионная водо-масляная среда за период 2/3 года в пределах погрешности измерений практически имела тот же уровень концентрации гидроксид-ионов $[\text{OH}^-]$ (снижение рН-значения произошло с 7,4 до 7,28). Замедленный процесс снижения основности эмульсии даже в незначительном концентрационном численном значении обусловлен, вероятно, неравнозначностью образования карбоксильных групп –COOH и высвобождением ионов водорода $[\text{H}^+]$.

Известно, что свинец обладает высокими коррозионными свойствами в различных агрессивных средах. В щелочных неорганических средах он подвергается интенсивной коррозии, а в неорганических кислотах довольно стоек. С другой стороны, в средах с присутствием в них органических водорастворимых щелочей свинец и его сплавы достаточно устойчивы, а в средах с органическими водорастворимыми кислотами – легко подвержены коррозии.

Данные, представленные в табл. 1 и на рис. 3, показывают, что используемые чистые масла имеют нейтральную среду $\text{pH} = 7,0$ (масло 7800) и кислотную среду $\text{pH} = 6,7$ (масло 9200). Информация из доступных источников [11, ГОСТ 2917-76] свидетельствует о том, что масла подвержены окислению воздействием на них кислорода воздуха и влаги. При этом могут образовываться водорастворимые органические кислоты (нафтеновые, карбоновые и другие органические кислоты), обладающие высокой коррозионной активностью, в первую очередь, на свинец, содержащийся в баббите.

Результаты, приведенные в табл. 1 и на рис. 3, показывают, что действие влаги на масло VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40 оказало значительное влияние на образование водорастворимых органических кислот (произошло снижение рН от 6,7 до 6,4), а действие на масло VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40 – на образование щелочных водорастворимых органических соединений (произошло повышение рН от 7,0 до 7,4).

Заключение

1. Проведенные исследования показали, что масла одного наименования, но разные по типу, используемые в ДВС КТА 50 карьерных самосвалов БелАЗ-75131, обладают различными коррозионными свойствами.

2. Качественная оценка исследуемых образцов масел свидетельствует о том, что образование водорастворимых органических кислот в масле VALVOLINE PREMIUM BLUE 9200 15W40 под действием влаги и кислорода воздуха, способствует усилению коррозионного воздействия на свинец или его сплавы.

3. Действие влаги или кислорода воздуха на исследуемое масло VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40 приводит к образованию водорастворимых органических щелочей, нейтрально воздействующих на свинец и его сплавы.

4. Наиболее оптимальным для использования в ДВС КТА50 карьерных самосвалов БелАЗ-75131, по критерию коррозионного воздействия и как, следствие, снижению концентрации

свинца в отработавшем масле можно считать масло VALVOLINE PREMIUM BLUE 7800 15W40.

5. Использование сжиженного природного газа (СПГ) в качестве моторного топлива на карьерных самосвалах БелАЗ 75131 не оказывает влияния на образование свинца в отработавшем масле ДВС КТА 50.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудреватых А.В. Методика определения технического состояния редукторов мотор-колеса автосамосвалов БЕЛАЗ по параметрам масла / А.С. Ащеулов, А.С. Ащеулова // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2020. № 1, с.49-55.

2. Stenin, D.V. Evaluation of the open pit vehicles loading influence on the reliability of motor – wheel reducers / D.V. Stenin, N.A. Stenina, A.A. Bakanov // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety, 2016. – С. 256-260.

3. Кудреватых А.В. Сравнительная характеристика процесса износа редукторов экскаваторов и карьерных самосвалов / А.В. Кудреватых, А.С. Ащеулов, А.С. Ащеулова // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – №5. – С. 51-56.

4. Kudrevatykh, A.V. Actual Technical Condition Assessment of A Motor-Wheel Gear of A Dump Truck Belaz Based on the Operating Oil Parameters / A.V. Kudrevatykh, A.S. Ashcheulov, A.S. Ashcheulova, A.S. Karnadud, and L. Rattmann – Текст: электронный // IVth International Innovative Mining Symposium. - E3S Web of Conferences 105, 03021 (2019).

5. Хорешок А.А. О мониторинге состояния редукторов экскаваторов на основе изменения температуры масла.// А.А. Хорешок, А.В. Кудреватых// Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности. Сборник трудов XIV международной научно-практической конференции. – 2012. – С. 122-124.

6. Кузнецов И.В. Энергетическая оценка эксплуатации газодизельных карьерных самосвалов БелАЗ-75131 на разрезах Кузбасса / И.В. Кузнецов, И.А. Панаев, Г.М. Дубов, С.А. Нохрин. // «Справочник. Инженерный журнал». – Москва: «СПЕКТР», 2019. №4(265). С. 19-23. DOI: 10.14489/hb.2019.04. pp. 019-023.

7. Kuznetsov I.V. Energy Assessment of BelAZ-75131 Gas-diesel Mining Dump Trucks Operation at Kuzbass Open Casts / I.V. Kuznetsov, I.A. Panachev, G.M. Dubov, S.A. Nokhrin. – Текст: электронный // Vth International Innovative Mining Symposium. – **Kemerovo, Russian Federation, October 19-21, 2020.** – E3S Web of Conferences 174, 03010 (2020). – p.8. DOI: 10.1051/e3sconf/202017403010.

8. Dubov G.M. Procedure for haul truck on-board LNG fuel systems performance evaluation / G.M. Dubov, D.S. Trukhmanov, I.V. Kuznetsov, S.A. Nokhrin, A.N. Sergel. – Текст: электронный // IVth International Innovative Mining Symposium. – **Kemerovo, Russian Federation, october 14-16, 2019.** – E3S Web of Conferences 105, 03019 (2019). – p.8. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503019.

9. Dubov G.M. The use of alternative fuel for heavy-duty dump trucks as a way to reduce the anthropogenic impact on the environment / G.M. Dubov, D.S. Trukhmanov, S.A. Nokhrin – Текст: электронный // INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND MODERN TECHNOLOGIES (FarEastCon-2019). – IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 459, 042059 (2020). – p.6. DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042059.

10. Dubov G.M. Development of technical requirements for on-board cryogenic fuel systems of BelAZ dump trucks / G.M. Dubov, D.S. Trukhmanov, S.A. Nokhrin, A.N. Sergel. – Текст: электронный // X International Scientific and Practical Conference «INNOVATIONS IN MECHANICAL ENGINEERING» (ISPCIME 2019). Kemerovo-Sheregesh, Russia, november 2019. – MATEC Web of Conferences 297, 03002 (2019). – p.7. DOI: 10.1051/matecconf/201929703002.

11. Azikhanov S.S. Development of the instrumentation system for gas-and-diesel fuelled BelAZ dump truck X International Scientific and Practical Conference / S.S. Azikhanov, A.R. Bogomolov, G.M. Dubov, A.N. Sergel. – Текст: электронный // «INNOVATIONS IN MECHANICAL ENGINEERING» (ISPCIME 2019). – Kemerovo-Sheregesh, Russia, november 2019. MATEC Web of Conferences 297, 03001 (2019). – p.6. DOI: 10.1051/matecconf/201929703001.

12. Dubov G.M. Prospects for the use of liquefied natural gas as a motor fuel for haul trucks / G.M. Dubov, D.S. Trukhmanov, I.V. Kuznetsov, S.A. Nokhrin, A.N. Sergel. – Текст: электронный // IVth International Innovative Mining Symposium. – **Kemerovo, Russian Federation, october 14-16, 2019.** – E3S Web of Conferences 105, 03018 (2019). – p.7. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503018.

- 13.Аксенов, А.Ф. Авиационные топлива, смазочные материалы и специальные жидкости / А.Ф. Аксенов. – М.: Транспорт, 1970. – 256 с.
- 14.Нефтепродукты. Свойства, качество, применение. Справочник. / Под ред. Б.В. Лосикова. – М.: Химия, 1966. – 776 с.
- 15.Боровая М.С. Лаборант нефтяной и газовой лаборатории / М.С. Боровая – М.: «Недра», 1968. – 309 с.

REFERENCES

1. Kudrevatykh A.V. Technique for determining the technical condition of the wheel motor gearboxes of BELAZ dump trucks by oil parameters / A.V. Kudrevatykh, A.S. Ascheulov, A.S. Ascheulova // Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2020. № 1, pp. 49-55. DOI: 10.26730/1999-4125-2020-1-49-55.
2. Stenin, D.V. Evaluation of the open pit vehicles loading influence on the reliability of motor – wheel reducers / D.V. Stenin, N.A. Stenina, A.A. Bakanov // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety, 2016. – С. 256-260. DOI:10.2991/coal-16.2016.49.
3. Kudrevatykh A.V. Comparative characteristics of the wear process of gearboxes of excavators and mining dump trucks / A.V. Kudrevatykh, A.S. Ascheulov, A.S. Ascheulova // Mining equipment and electromechanics. – 2020. – №5. – pp. 51-56. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-51-56.
4. Kudrevatykh, A.V. Actual Technical Condition Assessment of A Motor-Wheel Gear of A Dump Truck Belaz Based on the Operating Oil Parameters / A.V. Kudrevatykh, A.S. Ashcheulov, A.S. Ashcheulova, A.S. Karnadud, and L. Rattmann – Text: electronic // IVth International Innovative Mining Symposium. – E3S Web of Conferences 105, 03021 (2019). DOI:10.1051/e3sconf/201910503021.
5. Khoreshok A.A. About monitoring the condition of excavator gearboxes based on changes in oil temperature // A.A. Khoreshok, A.V. Kudrevatykh // Energy security of Russia. New approaches to the coal industry development. Proceedings of the XIV International Scientific and Practical Conference. – 2012. – pp. 122-124.
6. Kuznetsov I.V., Panachev I.A., Dubov G.M., Nohrin S.A. Energy evaluation of the operation of gas and diesel dump trucks BelAZ – 75131 on the cuts of Kuzbass // Handbook. An Engineering journal, 4, 265(2019). DOI: 10.14489/hb.2019.04. pp. 019-023.
7. Kuznetsov I.V. Energy Assessment of BelAZ-75131 Gas-diesel Mining Dump Trucks Operation at Kuzbass Open Casts / I.V. Kuznetsov, I.A. Panachev, G.M. Dubov, S.A. Nokhrin. – Текст: электронный // Vth International Innovative Mining Symposium. – Kemerovo, Russian Federation, October 19-21, 2020. – E3S Web of Conferences 174, 03010 (2020). – p.8. DOI: 10.1051/e3sconf/202017403010.
8. Dubov G.M. Procedure for haul truck on-board LNG fuel systems performance evaluation / G.M. Dubov, D.S. Trukhmanov, I.V. Kuznetsov, S.A. Nokhrin, A.N. Sergel. – Текст: электронный // IVth International Innovative Mining Symposium. – Kemerovo, Russian Federation, October 14-16, 2019. – E3S Web of Conferences 105, 03019 (2019). – p.8. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503019.
9. Dubov G.M. The use of alternative fuel for heavy-duty dump trucks as a way to reduce the anthropogenic impact on the environment / G.M. Dubov, D.S. Trukhmanov, S.A. Nokhrin – Текст: электронный // INTERNATIONAL MULTI-CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND MODERN TECHNOLOGIES (FarEastCon-2019). – IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 459, 042059 (2020). – p.6. DOI: 10.1088/1755-1315/459/4/042059.
10. Dubov G.M. Development of technical requirements for on-board cryogenic fuel systems of BelAZ dump trucks / G.M. Dubov, D.S. Trukhmanov, S.A. Nokhrin, A.N. Sergel. – Текст: электронный // X International Scientific and Practical Conference «INNOVATIONS IN MECHANICAL ENGINEERING» (ISPCIME 2019). Kemerovo-Sheregesh, Russia, November 2019. – MATEC Web of Conferences 297, 03002 (2019). – p.7. DOI: 10.1051/matecconf/201929703002.
11. Azikhanov S.S. Development of the instrumentation system for gas-and-diesel fuelled BelAZ dump truck X International Scientific and Practical Conference / S.S. Azikhanov, A.R. Bogomolov, G.M. Dubov, A.N. Sergel. – Text: electronic // «INNOVATIONS IN MECHANICAL ENGINEERING» (ISPCIME 2019). – Kemerovo-Sheregesh, Russia, November 2019. MATEC Web of Conferences 297, 03001 (2019). – p.6. DOI: 10.1051/matecconf/201929703001.
12. Dubov G.M. Prospects for the use of liquefied natural gas as a motor fuel for haul trucks / G.M. Dubov, D.S. Trukhmanov, I.V. Kuznetsov, S.A. Nokhrin, A.N. Sergel. – Текст: электронный // IVth International Innovative Mining Symposium. – Kemerovo, Russian Federation, October 14-16, 2019. – E3S Web of Conferences 105, 03018 (2019). – p.7. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503018.
13. Aksenov A.F. Aviation fuels, lubricants and special fluids / A.F. Aksenov. – Moscow: Transport, 1970. – 256 p.

14. Petroleum products. Properties, quality, application. Guidance / Edited by B.V. Losikov. – Moscow: Khimiya, 1966. – 776 p.
15. Borovaya M.S. Oil and gas laboratory assistant / M.S. Borovaya – Moscow: Nedra, 1968. – 309 p.

Библиографическое описание статьи

Дубов Г.М., Богомолов А.Р., Григорьева Е.А., Нохрин С.А. Анализ причин роста концентрации свинца в отработавшем масле ДВС КТА 50 карьерных самосвалов БелАЗ 75131, работающих по газодизельному циклу // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 3 (145). – С. 84-93.

Reference to article

Dubov G.M., Bogomolov A.R., Grigorieva E.A., Nokhrin S.A. Analysis of the reasons for the lead concentration increase in waste oil of ice KTA 50 of BelAZ 75131 gas-diesel open-pit dump trucks. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.3 (145), pp. 84-93.