

ТЕНДЕНЦИИ ВОСТРЕБОВАННОСТИ КАРЬЕРНЫХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ В РФ И КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ИХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Мякотных А.А.
Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: гидравлический экскаватор, поставка экскаваторов, анализ рынка экскаваторов, техническое обслуживание, гидравлическая система, загрязненная рабочая среда, акустическая эмиссия, фактическое обслуживание.

Аннотация. Экскаватор как один из типов выемочно-погрузочных машин является основной техникой, применяемой на горнодобывающих предприятиях. Наиболее распространенными из них являются однокорпусные гидравлические экскаваторы. Это связано с высокой удельной производительностью техники, автономностью ее функционирования, широкой вариативностью применения оборудования, а также с большой величиной производительного времени работы. Путем анализа многочисленных данных, а также обзором и анализом литературных источников, в работе был проведен анализ поставок карьерных гидравлических экскаваторов в Россию. А также предложен способ поддержания высокого уровня производительности машины, по причине того, что широкое применение гидравлических экскаваторов требует развития уровня их технического обслуживания. Одной из перспективных стратегий технического обслуживания является обслуживание по фактическому состоянию, благодаря которому возможен качественный контроль состояния машины во время ее эксплуатации. Так как основной причиной отказов гидравлической системы является ее загрязненная рабочая среда, актуально разрабатывать новые способы контроля загрязненности рабочей среды гидравлической системы. Реализация такого способа предполагает, что анализ данных, полученных в ходе контроля загрязненности жидкости, обеспечит работу экскаватора без внеплановых простоев.

TRENDS IN DEMAND FOR HYDRAULIC QUARRY EXCAVATORS IN RUSSIA AND MONITORING THE CONDITION OF THEIR HYDRAULIC SYSTEMS

Shibanov D.A., Ivanov S.L., Myakotnykh A.A.
Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: hydraulic excavator, excavator supply, market analysis, maintenance, hydraulic system, contaminated work environment, acoustic emission, actual maintenance.

Abstract. The excavator, as one of the types of excavation and loading machines, is the main equipment used in mining enterprises. The most common of them are single-bucket hydraulic excavators. This is due to the high specific capacity of the equipment, its autonomous operation, wide variability of the equipment use, and a large value of the productive time. By analyzing numerous data, as well as a review and analysis of literary sources, the paper analyzed the supply of quarry hydraulic excavators in Russia. And also the way of maintenance of a high level of productivity of the machine has been offered, because the wide application of hydraulic excavators demands development of a level of their maintenance. One of the perspective maintenance strategies is the real-time maintenance, which allows quality control of the machine during its operation. Since the main reason of failures of the hydraulic system is its contaminated working environment, it is relevant to develop new ways of controlling the contamination of the working environment of the hydraulic system. The implementation of such a method assumes that the analysis of data obtained during the control of contamination of the fluid will ensure the operation of the excavator without unscheduled downtime.

Введение

Основной тип оборудования на открытых горных разработках – экскаваторы [1]. Их рабочий цикл включает в себя: черпание, транспортирование, разгрузку и перемещение в начальную точку. На сегодняшний день, основываясь на показателях мировой практики машиностроения в области экскаваторов, выделяют несколько типов карьерных экскаваторов. Они представлены: карьерными электрическими экскаваторами – это основной вид техники для выполнения выемочно-погрузочных работ на крупнейших карьерах; гидравлическими экскаваторами – мобильная и автономная техника, применяемая на карьерах малой и средней

величины, а также при добыче ресурсов на слабых грунтах; драглайнами – это оборудование со сложной канатной связью для добычи рыхлых сыпучих горных пород.

Наиболее распространенными машинами на горных предприятиях России являются одноковшовые экскаваторы с вместимостью ковша 8-10 м³. И электромеханические, и гидравлические одноковшовые экскаваторы осуществляют значительный объем добычи горных пород [2]. На сегодняшний день все большее применение имеют гидравлические экскаваторы, обладающие широким диапазоном зоны обработки забоя, включая пространство ниже линии расположения ходовой части экскаватора; автономностью функционирования; возможностью осуществления работ на слабых грунтах (торф, глинистые грунты и др.) [3-5].

Материалы и методы исследования

Путем анализа многочисленных данных, таких как: данные об импорте экскаваторов таможенной службы, данные о закупках региональных сервис-компаний, данные официальных поставщиков, а также обзором и анализом литературных источников, была проанализирована информация о карьерных гидравлических экскаваторах в России. Основными странами, освоившими российский рынок гидравлических экскаваторов, являлись – Япония, США и ФРГ, поставлявшими экскаваторы фирм Komatsu и Hitachi, Caterpillar, Liebherr соответственно. Базовых моделей с объемом ковша от 10 до 50 м³, выпускаемых указанными компаниями всего 23. Лидером поставок в Россию и страны СНГ является фирма Komatsu – 42% всех экскаваторов за период с 2005-2020 гг., за тот же период Hitachi поставила 26% машин и по 16% – Caterpillar и Liebherr из общего количества чуть менее шести сотен гидравлических экскаваторов. При этом поставки фирм Caterpillar и Liebherr носят нисходящий тренд, а Японские компании – восходящий. Объемы поставок экскаваторов носили волнообразный характер с характерными циклами в пять-шесть лет, что соответствует периоду жизненного цикла гидравлических экскаваторов. Пиками поставок были 2007, 2012 и 2018 годы – 32 машины, 77 машин 50 машин соответственно.

Распределение импортных гидравлических экскаваторов по горным предприятиям в зависимости от типа добываемого полезного ископаемого следующее: угольные разрезы – 38%, железорудные карьеры – 19%, карьеры полиметаллических руд – 22%, другие карьеры, включая карьеры строительных материалов – 21%.

Разделяя модели по вместимости ковша, массе машины и полезной нагрузке *PLoad* (загрузка ковша) получим девять групп или классов гидравлических экскаваторов. Причем первые два (до 10 м³) – это, как правило, строительные машины или гидравлические экскаваторы мелких карьеров строительных материалов, а последний девятый относят к мегаэкскаваторам (объем ковша более 42 м³), например Hitachi EX8000-6, построенный в 2012 году с ковшом в 45 м³ и массой 811 т, считается самым большим экскаватором в мире.

Объем ковша является наиболее адекватным критерием оценки экскаваторов. По суммарному объему ковша, представленные в России на горных предприятиях гидравлические экскаваторы фирм Komatsu, Hitachi, Caterpillar и Liebherr составляют 41%, 28%, 17% и 14% соответственно. Таким образом, тенденция сохраняется. Карьерные гидравлические экскаваторы, работающие на карьерах России, делят на шесть классов:

III класс – 10-11 м³, масса 170-200 т (37% общего объема экскаваторов), модели: CAT 6018 [Caterpillar], EX 1900 [Hitachi], PC 2000 [Komatsu] и R 994, R 9200 [Liebherr];

IV класс – 15-18 м³, масса 240-300 т (33% общего объема экскаваторов), модели: CAT 6030 [Caterpillar], EX 2500 (EX 2600) [Hitachi], PC 3000 [Komatsu], R 9250 (R 9350) [Liebherr];

V класс – 21-22 м³, масса 350-400 т (23% общего объема экскаваторов), модели: CAT 6040 [Caterpillar], EX 3600 [Hitachi], PC 4000 [Komatsu], R 9400 [Liebherr];

VI класс – 25-28 м³, масса 450-550 т (5% общего объема экскаваторов), модели: CAT 6050 [Caterpillar], EX 5600 (EX 5500) [Hitachi], PC 5500 [Komatsu], R 995 [Liebherr];

VII класс – 34-36 м³, масса 570-670 т (1,2% общего объема экскаваторов), модели: CAT 6060 [Caterpillar], PC 7000 [Komatsu], R 996 [Liebherr];

VIII класс – 40-42 м³, масса 790-840 т (0,8% общего объема экскаваторов), модели: EX 8000 [Hitachi] и R 9800 [Liebherr].

Наиболее распространенными являются экскаваторы III класса, которые составляют 36% от всех экскаваторов, функционирующих на разрезах страны. Экскаваторы IV класса составляют 32%, V класса – 28%. На оставшиеся три класса приходится 7% экскаваторов, при этом последние два составляют менее 1% каждый.

Модель гидравлического экскаватора PC 2000 Komatsu в классе 10-11 м³ занимает лидирующую позицию, порядка 48% приходится на применение данной модели. На Hitachi приходится 25%, Caterpillar – 14% и Liebherr – 13%.

Самыми распространенными в классе 15-18 м³ получили модели PC 3000 (32%) и R 9250 (25%) гидравлических экскаваторов в данном классе. На экскаваторы Komatsu приходится 35% экскаваторов, Liebherr – 32%, Caterpillar – 21% и на Hitachi – 12%.

Распределение экскаваторов в группе машин класса 21-22 м³ следующий: Hitachi – 49%, Caterpillar – 10%, Komatsu – 36%, Liebherr – 5%. Наиболее распространенными моделями являются EX 3600 и PC 4000.

Начиная с 2012 года возрастает количество гидравлических экскаваторов с ковшами 21-22 м³, занимая полу пустующую нишу рынка, что связано увеличением объемов добычи, вводом в эксплуатацию большегрузных сто пятидесяти тонных автосамосвалов и автосамосвалов большей грузоподъемности с одной стороны и выходом только начиная с 2010 года электромеханических лопат новой линейки: ЭКГ-18Р ИЗ-КАРТЭКС, ЭКГ-18 Уралмашзавод. Несмотря на развитие отечественной техники представленного объема, предприятия не стремятся составлять и реализовывать программы по их внедрению на горнодобывающих производствах по причине низкого числа рекомендаций применения таких машин.

Распределение экскаваторов в группе машин класса 25-28 м³ следующее: Komatsu – 47%, Hitachi – 36%, Caterpillar – 17%. Стоит отметить, что в поставляемые машины класса 25-28 м³ не входят экскаваторы компании Liebherr. Представленная компания не производит поставку экскаваторов с объемом ковша данного класса.

На горные предприятия России экскаваторы класса 34-36 м³ было поставлено 8 машин исключительно фирмы Caterpillar. Поставки данного класса экскаваторов не включали в себя экскаваторы компаний Komatsu, Hitachi и Liebherr в указанный промежуток времени. Модели Caterpillar CAT 6060 введены в эксплуатацию на карьерах Карельский Окамыш, Еристовский ГОК, угольные разрезы ОАО «ЕВРАЗ».

В разрезе VIII класса гидравлических экскаваторов на горнодобывающие предприятия стран постсоветского пространства поставлены 5 единиц Komatsu PC 8000 с ковшом 40-42 м³. Все 5 единиц экскаваторов Komatsu PC 8000 эксплуатируются на угольных разрезах России (Мечел и Стройсервис).

Результаты

В соответствии с произведенным анализом парк карьерных гидравлических экскаваторов горнодобывающих предприятий РФ и СНГ насчитывает большое количество данных машин, и оно постоянно увеличивалось вплоть до 2022 года. В свою очередь значительное количество гидрофицированных горных машин на карьерах страны обуславливает необходимость проведения более тщательного и компетентного подхода к техническому обслуживанию и ремонту, а также технической диагностики гидравлических систем, как наиболее ответственных узлов конструкции гидравлических экскаваторов [6].

Ввиду того, что основной причиной выхода из строя гидрофицированной техники является загрязнение рабочей жидкости, велика необходимость контроля ее состояния в процессе функционирования машины, для снижения рисков внезапных отказов и, соответственно, снижения времени простоя оборудования [7, 8].

Загрязнение рабочей жидкости способствует интенсификации процесса изнашивания таких элементов гидравлических трансмиссий, как насосов, гидродвигателей, гидроцилиндров, гидравлической арматуре и т.п. [9].

Все перечисленное оборудование по мере протекания деградационных процессов, интенсифицируемых наличием абразива в рабочей жидкости, способствуют снижению объемного КПД гидросистемы.

Вне зависимости от объема ковша, марки и класса экскаватора его необходимо поддерживать в состоянии готовности, что осуществляется путем своевременного проведения диагностических процедур [10-12]. Гидравлические экскаваторы в период их эксплуатации требуют больших объемов рабочей жидкости, при этом анализ отказов гидравлических экскаваторов показал, что основной причиной выхода их из строя является загрязнение рабочей жидкости гидравлической системы. В исследовании [13] автор приводит данные статистики, которые показывают, что при абразивном изнашивании ресурс техники сокращается от 2 до 10 раз. Кроме того, 20-40% всех отказов приходится на наиболее нагруженные узлы гидравлической системы [14]. На сегодняшний день не существует такой гидравлической системы, которая гарантировала бы полное отсутствие загрязнителей в ее составе. А существующие системы контроля состояния загрязненности рабочей жидкости трудоемки и инерционны.

С учетом внешней рабочей среды, рабочей локации и размеров горной техники для ведения открытых разработок, ее техническое обслуживание целесообразно проводить в условиях функционирования машины [15]. По причине того, что смазочно-заправочные операции гидравлических карьерных экскаваторов превышают 1/3 временных и трудовых затрат, а несвоевременная замена рабочей жидкости приводит к повышению изнашивания и интенсивному развитию коррозионных процессов рабочих органов и деталей, понижению объемного КПД гидросистемы, подшипников, зубчатых колес и т.д. Кроме того, при условии ранней замены рабочей среды появляются высокие материальные потери [16, 17].

Частицы пыли поступают в рабочую жидкость при заливе/дозаливе в гидробак, а также в процессе эксплуатации в гидравлическую систему проникают абразивные частицы через зазоры из окружающего пространства или продукты изнашивания деталей пар трения [18, 19]. Таким образом, безотказность экскаватора и его эффективность работы возможны при выполнении тщательного, качественного, своевременного и регулярного контроля состояния загрязненности рабочей жидкости трансмиссии, который осуществим в рамках комбинированной стратегии технического, совмещая элементы ТОиР по фактическому состоянию и плановые диагностические процедуры оценки технического состояния.

Это осуществимо при проведении контроля загрязненности рабочей жидкости в режиме реального времени, например, посредством контроля величины и характера изменения высокочастотного звукового сигнала в диапазоне частот от 20 до 300 кГц. Реализация этого способа предполагает, что с повышением загрязненности рабочей жидкости гидравлической системы будет возрастать значение акустико-эмиссионного сигнала в точках трения рабочих органов системы, что обеспечит контроль загрязненности рабочей жидкости без простоев оборудования.

Проведенное исследование [20] на лабораторном стенде, в основу которого вошел шестеренный насос НШ-10 в качестве типового рабочего органа, и измерительный прибор АРП-11, выступающий как регистратор показателя акустико-эмиссионного сигнала, подтвердило гипотезу о возможности оценки состояния рабочей жидкости по параметру акустико-эмиссионного сигнала.

Заключение

Анализ результатов показал, что с повышением загрязнения рабочей среды акустико-эмиссионный сигнал возрастает, более того, показатель акустико-эмиссионного сигнала растет как при низких скоростях, так и при высоких, что подтверждает предположение о возможности контроля состояния загрязненности рабочей жидкости с применением устройства по патенту № 2739147. А также стоит отметить, что данная тенденция сохраняется вне зависимости от крупности абразивных частиц.

Подводя итог, можно констатировать, что спрос на гидравлические экскаваторы за последнее десятилетие увеличивался, это обусловлено наличием ситуативных преимуществ перед экскаваторами другого типа. Как следствие широкое применение гидравлических машин требует развития уровня их технического обслуживания. Одной из перспективных стратегий технического обслуживания является техническое обслуживание по фактическому

состоянию, что подтверждает проведенный эксперимент как инструмент для оценки состояния рабочей жидкости по величине параметра интегрального показателя акустической эмиссии при мониторинге технического состояния гидрофицированной горной техники.

Список литературы

1. Открытые горные работы – XXI век: справочник: В 2 т. Т. 1 / под ред. К.Ю. Анистратова. – М.: Система максимум, 2019. – 640 с.
2. Михайлов А.В., Родионов Е.А., Звонарев И.Е. Анализ условий вертикальной выемки торфяного сырья // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – №1. – С. 48-54. – DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-48-54.
3. Ковалёва Т.Е. Общий анализ конструкций и особенностей гидравлических экскаваторов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2020. – Т. 12. – С. 166-168.
4. Осадчий Ю.П. Методы повышения надежности машин // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов IX Всероссийской научно-практической конференции. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. – С. 185-187.
5. Зубов В.В., Косовский В.О., Алтунина М.С.. Повышение эффективности эксплуатации одноковшовых экскаваторов за счет модернизации конструкции ковша // Современные прикладные исследования. Материалы третьей национальной научно-практической конференции. – Новочеркасск: Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, 2019. – С. 114-118.
6. Бурый Г.Г., Щербатов В.С., Потеряев И.К. Увеличение производительности одноковшового экскаватора через усовершенствование формы ковша // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – №11(84). – С. 303-311. – DOI: 10.30987/1999-8775-2019-2019-11-38-45.
7. Верещагин В.И., Янович В.С., Ковальский Б.И., Безбородов Ю.Н., Ганжа В.А. Методы контроля и результаты исследования состояния трансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях: монография – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2017. – 208 с.
8. Зубкова С.Ю., Романов Р.А. Современные методы анализа масел и смазочных материалов // Химическая техника. – 2018 – №9. – С. 22-24.
9. Пунин А.В., Рылякин Е.Г. Влияние высокодисперсных частиц на эксплуатационные свойства рабочих жидкостей // Электронный научный журнал Инженерный вестник Дона. – 2015. – №1. – 8 с.
10. Bley T., Pignanelli E., Schütze A. Multi-channel IR sensor system for determination of oil degradation // J. Sens. Sens. Syst. 2014, no 3, pp. 121-132. DOI: 10.5194/jsss-3-121-2014.
11. Козлова А.Д. Улучшение процесса проведения измерений на примере спектрального анализа масел двигателей установками МФС // Механика XXI века. – 2019. – №18. – С. 93-97.
12. Семенов В.В., Асцатуров Ю.Г., Ханжонков Ю.Б., Кочковая Н.В. Разработка комбинированного устройства для оценки качества моторного масла // Инженерный вестник Дона. – 2018. – №4(51) – С. 35-46.
13. Yılmaz Ö., Aksoy M., Kesilmiş Z. Investigation of the Relationship between Vibration Signals Due to Oil Impurity and Cavitation Bubbles in Hydraulic Pumps // Electronics. 2022, vol. 11, no. 10, p. 1549. DOI: 10.3390/electronics11101549.
14. Kon T., Mano H., Iwai H., Korenaga A., Ohana T., Ashida K., Wakazono Y. Propagation characteristics of acoustic emission waves in liquid media in near-field // Precision Engineering. 2022, vol. 215, p. 118235. DOI: 10.1016/j.watres.2022.118235.
15. Курганов В.М., Грязнов М.В., Колобанов С.В. Оценка надежности функционирования экскаваторно-автомобильных комплексов в карьере // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 10-21. – DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10
16. Вишняков Г.Ю., Ботян Е.Ю. Оценка современных систем мониторинга карьерных автосамосвалов // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – №2. – С. 51-57. – DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-51-57
17. Великанов В.С. Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логистической модели // Записки Горного института. – 2020. – Т. 241. – С. 29-36. – DOI: 10.31897/PMI.2020.1.29.
18. Krasnyy V.A., Maksarov V.V., Maksimov D.D. Improving the wear resistance of piston rings of internal combustion engines when using ion-plasma coatings // Key Engineering Materials. 2020, vol. 854, pp. 133-139. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.854.133.
19. Khalimonenko A.D., Zlotnikov E.G., Gorshkov I.V., Popov M.A. Influence of the microstructure of cutting ceramics on the efficiency of the machining process // Materials Science Forum. 2021, vol. 1040, pp. 21-27. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1040.21.
20. Мякотных А.А., Князькина В.И., Шибанов Д.А. Экспериментальная оценка загрязнения рабочей жидкости трансмиссии на изменение акустического сигнала насоса при его работе // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2020. – Т. 1. – С. 369-375.

References

1. Anistratov K.Y. Open-pit mining – XXI century: handbook: In 2 vols. Vol. I / Ed. by K.Yu. Anistratov. – М.: System maximum, 2019. – 640 p.

2. Mikhailov A.V., Rodionov E.A., Zvonarev I.E. Analysis of vertical excavation conditions of peat raw materials // Mining Inf. Anal. Bull. (scientific and technical journal). 2019, no. 1, pp. 48-54. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-48-54.
3. Kovaleva T.E. General analysis of designs and features of hydraulic excavators // Proceedings of Tula State University. Technical Sciences. 2020, no. 12, pp. 166-168.
4. Osadchii Y.P. Methods to improve the reliability of machines // Reliability and durability of machines and mechanisms. Collection of materials of the IX All-Russian Scientific and Practical Conference. – Ivanovo: Ivanovo Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, 2018. – P. 185-187
5. Zubov V.V., Kosovsky V.O., Altunina M.S. Improving the efficiency of single-bucket excavators operation by upgrading the bucket design // Modern applied research. Materials of the third national scientific and practical conference. – Novocherkassk: South Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platov, 2019. – P. 114-118.
6. Buryi G.G., Shcherbakov V.S., Losing I.K. Increasing the productivity of single-bucket excavator through the improvement of the bucket shape // Bulletin of Bryansk State Technical University. 2019, no. 11(84), pp. 303-311. DOI: 10.30987/1999-8775-2019-2019-11-38-45.
7. Vereshchagin V.I., Yanovich V.S., Kovalsky B.I., Bezborodov Yu.N., Ganzha V.A. Methods of control and results of research of the state of transmission and motor oils during their oxidation and tribotechnical tests: monograph. – Krasnoyarsk: Sib. fed. university, 2017. – 208 p.
8. Zubkova S.Yu., Romanov R.A. Modern methods of analysis of oils and lubricants // Chemical Engineering. 2018, no. 9, pp. 22-24.
9. Punin A.V., Ryliakin E.G. Influence of highly dispersed particles on operational properties of working fluids // Electronic scientific journal Engineering Herald of Don. 2015, no. 1, 8 p.
10. Bley T., Pignanelli E., Schütze A. Multi-channel IR sensor system for determination of oil degradation // J. Sens. Sens. Syst. 2014, no 3, pp. 121-132. DOI: 10.5194/jsss-3-121-2014.
11. Kozlova A.D. Improvement of measurement process by the example of spectral analysis of motor oils by MFS units // Mechanics to the XXI century. 2019, no. 18, pp. 93-97.
12. Semenov V.V., Astsurov Yu.G., Khanzhonkov Yu.B., Kochkova N.V. Development of a combined device for assessing the quality of motor oil // Engineering Herald of the Don. 2018, no. 4, pp. 35-46.
13. Yılmaz Ö., Aksoy M., Kesilmiş Z. Investigation of the Relationship between Vibration Signals Due to Oil Impurity and Cavitation Bubbles in Hydraulic Pumps // Electronics. 2022, vol. 11, no. 10, p. 1549. DOI: 10.3390/electronics11101549.
14. Kon T., Mano H., Iwai H., Korenaga A., Ohana T., Ashida K., Wakazono Y. Propagation characteristics of acoustic emission waves in liquid media in near-field // Precision Engineering. 2022, vol. 215, p. 118235. DOI: 10.1016/j.watres.2022.118235.
15. Kurganov V.M., Gryaznov M.V., Kolobanov S.V. Reliability assessment of operation of excavator-automotive complexes in the quarry // Journal of Mining Institute. 2020, vol. 241, pp. 10-21. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.10.
16. Vishnyakov G.Yu., Botyan E.Yu. Evaluation of modern systems for monitoring of open-pit dump trucks // Mining equipment and electromechanics. 2022, vol. (2), pp. 51-57. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-2-51-57.
17. Velikanov V.S. Mining excavator working equipment load forecasting according to a fuzzy-logistic model // Journal of mining institute. 2020, vol. 241, pp. 29-36. DOI: 10.31897/pmi.2020.1.29.
18. Krasnyy V.A., Maksarov V.V., Maksimov D.D. Improving the wear resistance of piston rings of internal combustion engines when using ion-plasma coatings // Key Engineering Materials. 2020, vol. 854, pp. 133-139. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.854.133.
19. Khalimonenko A.D., Zlotnikov E.G., Gorshkov I.V., Popov M.A. Influence of the microstructure of cutting ceramics on the efficiency of the machining process // Materials Science Forum. 2021, vol. 1040, pp. 21-27. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1040.21.
20. Myakotnykh A.A., Knyazkina V.I., Shibanov D.A. Experimental evaluation of transmission fluid contamination on the change in the acoustic signal of the pump during its operation // Problems of Hydrocarbon and Ore Mineral Deposits Development. 2020, vol. 1, pp. 369-375.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Иванов Сергей Леонидович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машиностроения	Ivanov Sergey Leonidovich – doctor of technical sciences, professor, professor of the Department of mechanical engineering
Шибанов Даниил Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения	Shibanov Daniel Alexandrovich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department of mechanical engineering
Мякотных Алина Алексеевна – аспирант s215044@stud.spmi.ru	Myakotnykh Alina Alekseevna – postgraduate student

Получена 24.11.2022