

УДК 622:658.562; 622.121; 622.142.1; 622.143.1 <https://doi.org/10.26160/2658-3305-2025-34-122-128>

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО СМАЗЫВАНИЯ УЗЛОВ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Колпаков В.О.¹, Шибанов Д.А.¹, Селезнев М.С.², Хамидов О.У.¹

¹*Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург;*

²*ООО «Техпартнер», Санкт-Петербург*

Ключевые слова: карьерный экскаватор, централизованная система смазывания, смазывание, густой смазочный материал, техническое обслуживание, интервалы технического обслуживания, режимы смазывания.

Аннотация. В статье приведены материалы проведенного анализа эффективности эксплуатации централизованных систем смазки карьерных электрических экскаваторов большой единичной мощности. На основе опыта эксплуатации на железорудных карьерах России эмпирически установлено, что фактические объемы подачи смазочного материала в узлы трения на горных предприятиях существенно превышают рекомендации заводов-изготовителей, что ведет к перерасходу материальных ресурсов и росту стоимости поддержания работоспособного состояния машины. Основной вывод заключается в необходимости разработки дифференцированного подхода к регламенту смазывания пар трения на основе экспериментальных данных в фактических условиях эксплуатации по мониторингу нагрузок рабочего оборудования, возникающих при экскавации горной массы, для исключения работы узлов в условиях как граничного трения, так и переизбытка смазочного материала, и рационализации эксплуатационных затрат.

ANALYSIS OF THE FUNCTIONING OF CENTRALIZED LUBRICATION SYSTEMS FOR QUARRY EXCAVATOR'S PARTS

Kolpakov V.O.¹, Shibanov D.A.¹, Seleznev M.S.², Khamidov O.U.¹

¹*Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint-Petersburg;*

²*Techpartner LLC, Saint-Petersburg*

Keywords: mining excavator, centralized lubrication system, lubrication, thick lubricant, maintenance, maintenance intervals, lubrication modes.

Abstract. The article presents an analysis of the operational efficiency of centralized lubrication systems for high-power electric mining excavators. Based on operational experience at Russian iron ore quarries, it has been empirically established that the actual volume of lubricant supplied to friction units significantly exceeds the manufacturers' recommendations. This leads to a waste of material resources and increased costs of maintaining machine operability. The main conclusion is the need to develop a differentiated approach to lubricating friction pairs. This approach should be based on experimental data obtained under actual operating conditions, specifically through monitoring the loads on the equipment during rock mass excavation. The goal is to prevent the units from operating under conditions of both boundary lubrication and excessive lubricant supply, thereby rationalizing operational costs.

Введение

Оценка интенсивности расходование ресурса узлов выемочных машин с увеличением единичной мощности и объемов производства становится все более актуальной задачей. Абразивное и усталостное изнашивание пар трения является причиной значительной части отказов оборудования. Изучение и развитие вопроса, связанного с типом и режимами работы систем смазки, а также оснащением автоматизированными централизованными системами смазки (АЦСС) узлов, ранее обслуживаемых шприцеванием, экскаваторов типа ЭКГ становится одним из приоритетных направлений повышения эффективности технического обслуживания. Своевременное надлежащее смазывание всех трущихся поверхностей является необходимым условием их длительной безотказной работы.

Применение систем автоматической смазки в парках горной техники зарубежных производителей получило свое повсеместное распространение в начале 2000-х годов. Первыми в отрасли начали внедрять централизованные системы смазки в состав своего оборудования компании, мировые лидеры по производству горных машин: Caterpillar,

Komatsu, Demag. В первую очередь были оснащены системами карьерные самосвалы до 55 т, далее тяжелые самосвалы и только в третью очередь системы централизованной смазки применили на карьерных экскаваторах. История оснащения автоматическими централизованными системами экскаваторных парков российских горнодобывающих предприятий началась в 2006-2010 годах представительством LINCOLN GmbH в России – ООО «Линкольн Рус». На тот временной период экскаватор ЭКГ-10 производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» был самым массовым по поставкам на предприятия и составлял основу экскаваторных парков карьеров железно-рудных месторождений. Внедрение первых элементов таких систем карьерных экскаваторов реализовано именно на модели экскаватора ЭКГ-10. Первыми узлами, оснащенными централизованной системой смазки, были элементы ходовой тележки. На первых этапах реализации централизованных систем на экскаваторах автоматического смазывания не было, процесс подачи консистентной смазки в узлы трения осуществлялся только во время остановок машины шприцом или заправочным пистолетом. Совместная работа инженеров завода-изготовителя экскаватора и производителя АЦСС позволила решить многие задачи оснащения машин системами смазки, для этого были внесены изменения к конструкции деталей экскаватора.

С 2009-2010 гг. в ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» реализуется концепция экскаваторов новой линейки: ЭКГ-12К, ЭКГ-18Р/20К, ЭКГ-32Р [1], которые уже на этапе их проектирования предусматривали комплектование системами автоматической смазки.

На сегодняшний день состояние оснащения парков карьерной техники системами смазки следующее: новое поставляемое в эксплуатацию оборудование оснащено системами с завода изготовителя; порядка 40-50% экскаваторов со сроком поставки ранее 2010 года смазываются вручную или полуавтоматически. Высокая доля машин, неоснащенных системами централизованной смазки, связана с большими сроками эксплуатации экскаваторов: регламентированный срок службы 20 лет, а фактически срок эксплуатации достигает более 30 лет.

Системы смазки комплектуются на элементной базе продукции Lincoln, SKF, TRIBO, НУМА. Следует отметить, что компания TRIBO является единственным российским производителем элементов АЦСС.

Карьерные электрические экскаваторы типа ЭКГ в данный момент оснащаются автоматическими системами смазки заводом-изготовителем, но, тем не менее, остается огромный пласт машин, где подача смазочного материала осуществляется вручную или полуавтоматически.

Материалы и методы исследования

Необходимость своевременной подачи смазочного материала к узлам трения является одной из первостепенных задач в цикле технического обслуживания карьерных экскаваторов типа ЭКГ [2]. Большая часть пар трения машины представлена соприкосновением материалов: металл-металл. Отсутствие смазочного материала в узлах трения приводит к резкому повышению интенсивности изнашивания, что неизбежно сказывается на затратах по поддержанию работоспособного состояния оборудования и увеличению времени простоев. Применение автоматических систем смазки позволяет устанавливать интервалы и объем подачи смазочного материала, а, так же, производить корректировку параметров системы исходя из условий эксплуатации машины. Современные системы АЦСС имеют ряд конструктивных решений, позволяющих осуществлять мониторинг уровня готовности элементов системы смазки, например:

- распределителей;
- объема смазочного материала в резервуаре насоса;
- режимов работы насосного оборудования.

Своевременное техническое обслуживание автоматической системы смазки карьерного экскаватора является неотъемлемой частью эффективности расходования ресурса основных узлов машины и сокращения финансовых затрат, по поддержанию работоспособного состояния оборудования и его восстановления.

Результаты

При эксплуатации системы автоматического централизованной смазки подаваемый в каждую точку объем материала зависит от типа распределителя. Головные распределители основной насосной станции – двухлинейные, типа VSG и VSL. Вспомогательные и каскадные – прогрессивные, типа SSV. По функционированию их можно классифицировать на два типа: с фиксированным объемом подаваемого материала и с регулируемым. Регулировка объема подачи смазочного материала осуществляется регулировочными штифтами на двухлинейных распределителях типа VSL-KR, VSG-KR либо объединением выпусков. Регулировка прогрессивных распределителей осуществляется установкой конусных заглушек в каналы подачи смазочного материала.

Периодичность подачи смазочного материала регулируется интервалами времени включения главного насоса. Насос основной станции нагнетает давление, необходимое для срабатывания питателей по всей длине гидравлической линии. Данные о времени работы и паузы насоса получают от сервисной службы (ремонтного подразделения) по субъективным критериям качества функционирования узлов трения. На примере железорудного горнодобывающего карьера северо-запада России время одного цикла работа-пауза в насосной станции установлено равной восьми минутам.

Оценка эффективности эксплуатации и технического обслуживания систем централизованной смазки выполнялась в рамках технического аудита на одном из железорудных карьеров России.

Проведен анализ смазывания узлов трения рабочего оборудования карьерного экскаватора с канатным исполнением напорного механизма с учетом особенностей конструкции рабочего оборудования.

Максимальная подача смазочного материала для каждой точки и узлов рабочего оборудования экскаваторов типа ЭКГ большой единичной мощности с объемами ковша от 15 до 35 м³ согласно основным эксплуатационным документам, поставляемым с машинами на горнодобывающие предприятия, приведены в таблице 1.

Табл. 1. Максимальная подача смазочного материала в одну точку рабочего оборудования за 8 часов работы, см³

Наименование узла смазывания	ЭКГ-15М		ЭКГ-20К		ЭКГ-20КМ		ЭКГ-35К	
	Кол-во, ед.	Объем, см ³	Кол-во, ед.	Объем, см ³	Кол-во, ед.	Объем, см ³	Кол-во, ед.	Объем, см ³
Подшипники головных блоков	-	-	4	17,6	4	17,6	4	17,6
Напорная ось	2	17,6	2	17,6	2	80	2	17,6
Ось блока открывания днища ковша	1	35,2	1	35,2	н.д.	н.д.	1	35,2
Ролики седлового подшипника	4	17,6	4	17,6	4	40	4	17,6
Балка рукояти, боковая поверхность	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	8	13,3	н.д.	н.д.
Балка рукояти, верх	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	2	26,6	н.д.	н.д.

Время между очередными порциями подачи смазочного материала и его количество, подаваемыми в отдельные узлы трения, заводом-изготовителем рекомендуется уточнять в зависимости от конкретных условий эксплуатации. При этом не даются рекомендации о пределах или нормах, в рамках которых следует провести корректирующие настройки. Также стоит отметить, что рекомендации по максимальному объему подачи консистентной смазки в точку смазывания соответствуют базовым условиям эксплуатации экскаваторов [3, 4].

Исходя из нормы времени циклов работы основного насоса объемы подачи смазывающего материала к узлам рабочего оборудования экскаваторов, приведенные в таблице 1, фактически могут быть существенно больше рекомендованных заводом-изготовителем экскаватора. С учетом вариативности настроек распределителей и цикла

работы насоса данные о подаче смазывающего материала за 8 часов эксплуатации приведены в таблице 2 для экскаватора ЭКГ-15М.

Табл. 2. Возможная подача смазочного материала в одну точку рабочего оборудования за 8 часов работы в условиях эксплуатации, см³

Наименование узла смазывания	ЭКГ-15М		
	Кол-во точек, ед.	Объем min, см ³	Объем max, см ³
Подшипники головных блоков	2	33	132
Напорная ось	2	33	132
Ось блока открывания днища ковша	1	33	132
Ролики седлового подшипника	4	33	132
Балка рукояти, боковая поверхность	4	12	12
Балка рукояти, верх	4	12	12

Из анализа настройки системы АЦСС можно сделать вывод, что подача смазочного материала к парам трения осуществляется в большем объеме, чем установлено рекомендациями завода-изготовителя экскаватора.

В соответствии с уточнениями параметров смазывания горнодобывающему предприятию, или сервисной (ремонтной) службе, требуется наличие методик, инструкций по смазыванию и иных нормативных документов для эффективной эксплуатации машины в заданных целевых показателях ее работоспособности.

Был проведен анализ отказов и простоев оборудования, связанных с некорректной работой и обслуживанием АЦСС за 2024 год по машинам с объемом ковша 12, 15 и 20 м³. Смазывание узлов машины с применением АЦСС происходит лишь на 16% узлов. Следовательно, большая часть оборудования подвержена влиянию человеческого фактора [5], что негативно сказывается на общем ресурсе машины.

Исходя из опыта эксплуатации экскаваторов [6, 7], можно выделить, что, основной причиной выхода узлов и механизмов из строя является изнашивание сопрягаемых рабочих поверхностей деталей. Более 75% узлов и механизмов выходит из строя в результате изнашивания деталей [7].

Для экскаватора ЭКГ-20К к узлам рабочего оборудования централизованная подача смазочного материала осуществляется к подшипникам головных блоков, напорной оси, оси блока открывания днища ковша и роликам седлового подшипника. У других моделей экскаваторов количество точек может отличаться [8] как в большую, так и в меньшую сторону.

Согласно проведенному анализу конструкции седловых подшипников (рис. 1) линейки экскаваторов с канатным исполнением напорного механизма модели карьерных экскаваторов имеют однотипную конструкцию рабочего оборудования: однобалочная рукоять круглого сечения, двухбалочная шарнирно-сочлененная стрела и седловой подшипник, установленный на напорной оси, внутри корпуса на осях закреплены ролики, являющиеся опорой рукояти в вертикальной плоскости.

Конструктивные отличия в рабочем оборудовании по моделям незначительные, таким образом, можно говорить о масштабном факторе [9, 10]. Экскаватор большего типоразмера (увеличение полезной нагрузки в ковше, т.е. увеличении единичной мощности экскаватора, следовательно, нагрузок при экскавации) имеет большие массогабаритные параметры, в том числе элементов рабочего оборудования (табл. 3). При этом не имеет прямо пропорциональной зависимости увеличения размеров и полезной нагрузки в ковше.

При увеличении габаритных размеров пары трения (табл. 2) периодичность и объем смазочного материала, подаваемый в пару трения, по узлам не изменяется для экскаваторов моделей 15М, 20К и 35К.

Обособлено выделяется технология смазывания элементов рабочего оборудования экскаватора ЭКГ-20КМ. Единичная мощность эквивалентная полезной нагрузки в ковше

экскаватора ЭКГ-20КМ на 25% больше модели ЭКГ-20К и на 26% меньше модели ЭКГ-35К, при этом пару ось-ролик объем смазочного материала у ЭКГ-20К и ЭКГ-35К подается одинаковый, равный $17,6 \text{ см}^3$ на точку, а у ЭКГ-20КМ – 40 см^3 на точку.

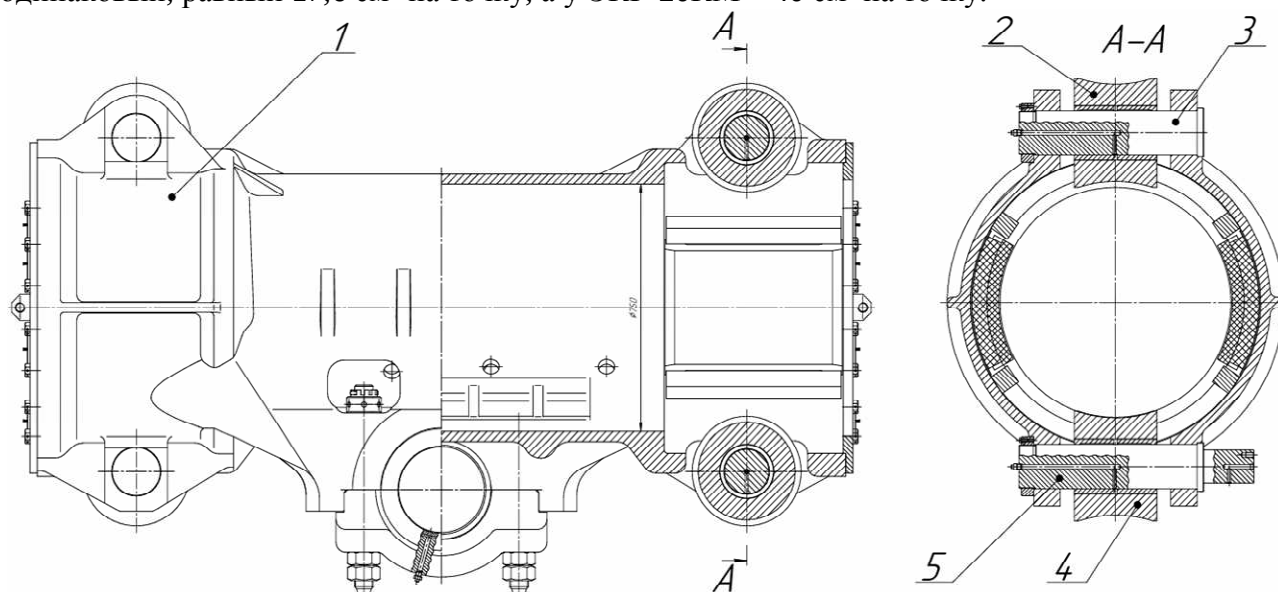


Рис. 1. Конструктивная схема седлового подшипника экскаватора с канатным исполнением напорного механизма (материалы автора): 1 – седловой подшипник, 2 – ролик верхний, 3 – ось ролика верхнего, 4 – ролик нижний, 5 – ось ролика нижнего

Табл. 3. Массогабаритные параметры седловых подшипников карьерных экскаваторов с канатным напором

Параметр	ЭКГ-12К	ЭКГ-15М	ЭКГ-20К	ЭКГ-20КМ	ЭКГ-35К
Полезная нагрузка в ковше, т	24	31	40	50	63
Масса экскаватора рабочая, т	410	700	700	720	1050
Масса седлового подшипника, т	4,8	12,7	12,7	14,4	14,4
Диаметр оси ролика, мм	135	120	120	140	140

Выводы

Поддержание централизованных систем смазки в работоспособном состоянии и корректных режимов ее работы для карьерных экскаваторов позволяет значительно увеличить время непосредственной работы экскаватора по выемки горной массы, повысить эксплуатационную производительность и общую эффективность горнодобывающего предприятия.

Из анализа рекомендаций по смазыванию узлов рабочего оборудования карьерных экскаваторов и фактических настроек системы АЦСС на горнодобывающих предприятиях следует, что разработка регламента подачи смазывающего материала в точки смазывания требует дифференцированного подхода в зависимости от фактических условий эксплуатации и нагрузок в узлах трения и является актуальной научно-технической задачей. Для разработки такого регламента требуется проведение экспериментальных стендовых испытаний для обоснования периодичности и объемов подачи смазывающего материала в узлы трения в зависимости от влияющих факторов эксплуатации. Одним из критериев оценки фактических нагрузок следует принять изменения параметров главных приводов экскаватора по данным информационно-диагностической системы, а именно изменение мгновенных значений электрических параметров двигателей при наборе горной массы в реальных условиях функционирования. Что позволит исключить работу узла трения как с недостатком смазывающего материала (условия граничного трения), так и его перерасход, следствием которого является снижение эксплуатационных затрат.

Седловой подшипник, как наиболее нагруженный элемент конструкции рабочего оборудования, является ресурсопределяющим узлом и критичность риска его отказа достаточно велика. Замена седлового подшипника или его элементов требует значительных временных и финансовых ресурсов. Смазывание ролика (ролик, ось и втулка) седлового подшипника, как самого нагруженного элемента, воспринимающего нагрузку при копании, является наиболее характерным объектом исследования в рамках повышения эффективности технического обслуживания экскаваторов.

Список литературы

1. Самолазов А.В., Костюкович Н.И. Перспективная линейка отечественных карьерных гидравлических экскаваторов ОАО "Уралмашзавод" // Горная промышленность. – 2015. – №2(120). – С. 32.
2. Салимов А.Э., Шибанов Д.А., Иванов С.Л. Риски отказов карьерного экскаватора, связанные с его техническим обслуживанием и ремонтом // Горная промышленность. – 2024. – №2. – С. 97-102. – DOI: 10.30686/1609-9192-2024-2-97-102.
3. Цветков Ю.Н., Петров В.А., Горбаченко Е.О. Сравнительные триботехнические характеристики полимерных материалов для дейдвудных подшипников в условиях граничной смазки // Судостроение. – 2023. – №1(866). – С. 43-50.
4. Карпенко К.И., Мясникова Н.А., Мясников Ф.В., Авилов В.В. Повышение трибологических характеристик пластичных смазок при введении присадок на основе нестехиометрических соединений молибдена и вольфрама // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2020. – №1. – С. 20-23.
5. Кузнецов Д.В., Косолапов А.И. Методология обоснования горнотранспортного оборудования для рудных карьеров // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2022. – Т. 20, №3. – С. 54-63. – DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-3-54-63.
6. Малафеев С.И., Малафеева А.А., Коняшин В.И., Новгородов А.А. Мехатронная система для обкатки и испытаний механических передач карьерных экскаваторов // Горные науки и технологии. – 2025. – Т. 10, №1. – С. 75-83. – DOI: 10.17073/2500-0632-2024-05-262.
7. Прохоров В.Ю. Исследование трибологических характеристик конструкционных материалов на противозадирные и противоизносные свойства смазок // Техника и оборудование для села. – 2018. – №1. – С. 38-41.
8. Костыгова Д.М., Казунин Д.В. Математическое моделирование электрических систем карьерного экскаватора в режиме реального времени // Вестник Санкт-Петербургского университета. Прикладная математика. Информатика. Процессы управления. – 2017. – Т. 13, №1. – С. 81-90. – DOI: 10.21638/11701/spbu10.2017.108.
9. Shibano D.A., Ivanov S.L., Shishkin P.V. Digital technologies in modeling and design of mining excavators // Journal of Physics: Conference Series. 2021, vol. 1753, p. 012052. – DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012052.
10. Shibano D.A., Ivanov S.L., Safronchuk K.A., Knyazkina V.I. Adapting standard maintenance approaches for mining excavators to actual operating condition // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 966, p. 012138. DOI: 10.1088/1757-899X/966/1/012138.

References

1. Samolazov A.V., Kostyukovich N.I. A promising line of domestic hydraulic mining excavators of Uralmashzavod OJSC // Russian Mining Industry. 2015, no. 2(120), p. 32.
2. Salimov A.E., Shibano D.A., Ivanov, S.L. The risks of mining excavator failures associated with its maintenance and repair // Russian Mining Industry. 2024, no. 2, pp. 97-102. – DOI: 10.30686/1609-9192-2024-2-97-102.
3. Tsvetkov Yu.N., Petrov V.A., Gorbachenko E.O. Comparative tribotechnical characteristics of polymer materials for deadwood bearings under boundary lubrication conditions// Shipbuilding. 2023, no. 1(866), pp. 43-50.
4. Karpenko K.I., Myasnikova N.A., Myasnikov F.V., Avilov V.V. Improving the tribological characteristics of plastic lubricants with the introduction of additives based on nonstoichiometric compounds of molybdenum and tungsten // Assembly in mechanical engineering, instrument engineering. 2020, no. 1, pp. 20-23.
5. Kuznetsov D.V., Kosolapov A.I. Methodology of substantiation of mining and transportation equipment for ore pits // Bulletin of Magnitogorsk State Technical University n.a. G.I. Nosov. 2022, vol. 20, no. 3, pp. 54-63. – DOI: 10.18503/1995-2732-2022-20-3-54-63.
6. Malafeev S.I., Malafeeva A.A., Konyashin V.I., Novgorodov A.A. A mechatronic system for running in and testing mechanical gears of quarry excavators // Mining sciences and technologies. 2025, vol. 10, no. 1, pp. 75-83. DOI: 10.17073/2500-0632-2024-05-262.
7. Prokhorov V.Yu. Investigation of tribological characteristics of structural materials for extreme pressure and anti-wear properties of lubricants // Machinery and equipment for rural areas. 2018, no. 1, pp. 38-41.
8. Kostygova D.M., Kazunin D.V. Mathematical modeling of electric systems of a quarry excavator in real time // Bulletin of Saint-Petersburg University. Applied mathematics. Computer science. Management processes. 2017, vol. 13, no. 1, pp. 81-90. – DOI: 10.21638/11701/spbu10.2017.108.

9. Shibarov D.A., Ivanov S.L., Shishkin P.V. Digital technologies in modeling and design of mining excavators // Journal of Physics: Conference Series. 2021, vol. 1753, p. 012052. – DOI: 10.1088/1742-6596/1753/1/012052.
10. Shibarov D.A., Ivanov S.L., Safronchuk K.A., Knyazkina V.I. Adapting standard maintenance approaches for mining excavators to actual operating condition // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020, vol. 966, p. 012138. DOI: 10.1088/1757-899X/966/1/012138.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Колпаков Владимир Олегович – аспирант	Kolpakov Vladimir Olegovich –postgraduate student
Шибанов Даниил Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Машиностроения	Shibarov Daniil Aleksandrovich – candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the Department of mechanical engineering
Селезнев Михаил Станиславович – главный инженер, начальник отдела смазочных систем промышленного оборудования	Seleznev Mikhail Stanislavovich – chief engineer, head of the department of lubrication systems of industrial equipment
Хамидов Ойбек Улугбек угли – аспирант	Khamidov Oybek Ulugbek ugli – postgraduate student
Shibarov_DA@pers.spmi.ru	

Получена 10.10.2025