

ОЦЕНКА ОБЪЕМОВ ПОДАЧИ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ПАРУ ТРЕНИЯ В АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ СИСТЕМЕ СМАЗКИ КАРЬЕРНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ

Колпаков В.О.¹, Шибанов Д.А.¹, Селезнёв М.С.²

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

²ООО «ТЕХПАРТНЕР», Санкт-Петербург

Ключевые слова: карьерный экскаватор, централизованная система смазывания, густой смазочный материал, техническое обслуживание, интервалы подачи смазочного материала, алгоритм оценки подачи смазочного материала.

Аннотация. В рамках настоящего исследования разработан алгоритм и методика расчёта объёмов подачи густого смазочного материала системой автоматической централизованного смазывания электрического карьерного экскаватора в узлы, реализованные парами трения. Актуальность исследования обусловлена тенденцией к оснащению всех поставляемых горных машин на карьеры аналогичными системами и дооснащению уже имеющегося, но морально устаревающего парка горной техники. При этом выявлено системное несоответствие рекомендуемых заводом изготовителем параметров и фактически реализуемых настроек на местах. Установлено, что современные системы централизованного смазывания позволяют регулировать объем подачи смазочного материала в пару трения в широком диапазоне расчётных значений, что свидетельствует о значительном потенциале регулирования параметров системы под конкретные условия и режимы эксплуатации. Предложенная методика позволяет количественно оценить объем подачи смазочного материала с учётом конструктивных особенностей применяемых схем автоматических централизованных систем смазывания и их установленных параметров. А ее применение способствует осуществлению перехода от субъективной настройки оборудования к рациональному регулированию режимов подачи смазочного материала, в соответствии с фактическими условиями эксплуатации для снижения эксплуатационных затрат и повышения эффективности технического обслуживания и ремонта.

ON THE NEED TO OPTIMIZE THE OPERATION OF AUTOMATIC CENTRALIZED LUBRICATION SYSTEMS FOR ELECTRIC MINING EXCAVATORS

Kolpakov V.O.¹, Shibarov D.A.¹, Seleznev M.S.²

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

²TECHPARTNER LLC, Saint-Petersburg

Keywords: open-pit mining excavator, centralized lubrication system, lubricating grease, maintenance, lubricant delivery intervals, algorithm for evaluating lubricant delivery.

Abstract. Within the framework of the present study, an algorithm and methodology have been developed for calculating the delivery volumes of lubricating grease by an automatic centralized lubrication system of an electric mining excavator to components incorporating friction pairs. The relevance of this research is driven by the trend toward equipping all mining machines supplied to open-pit operations with similar systems, as well as retrofitting the existing, morally obsolete fleet of mining equipment. In this regard, a systematic discrepancy has been revealed between the parameters recommended by the original equipment manufacturer and the actual settings implemented in the field. It has been established that modern centralized lubrication systems allow the lubricant delivery volume to a friction pair to be regulated over a wide range of calculated values, indicating significant potential for adjusting system parameters to specific operating conditions and modes. The proposed methodology enables a quantitative assessment of the lubricant delivery volume, taking into account the design features of the automatic centralized lubrication system configurations employed and their set parameters. Its application facilitates the transition from subjective equipment adjustment to rational regulation of lubricant delivery modes in accordance with actual operating conditions, thereby reducing operating costs and enhancing the efficiency of maintenance and repair.

Введение

Эффективность смазывания узлов и агрегатов является одним из определяющих факторов обеспечения работоспособности электрических карьерных экскаваторов особенно в тяжелых условиях и режимах эксплуатации на железорудных карьерах [1, 2]. Современные

горные машины, в том числе карьерные экскаваторы, поставляются на горнодобывающие предприятия, оснащенные автоматическими централизованными системами смазывания (АЦСС). Серийное оснащение экскаваторов системами АЦСС реализуется с 2010-х годов. При сроке службы горной машины более 20 лет на горно-обогатительных комбинатах эксплуатируются экскаваторы, не оснащенные подобными системами, однако, постепенно проводится их модернизация по оснащению системами смазывания в рамках текущих и капитальных ремонтов, а достигшие предельного состояния машины выводятся из эксплуатации [3, 4].

В рамках исследования выявлено системное несоответствие между параметрами смазывания по регламенту и фактической настройкой АЦСС. Регламентные нормативы, носят общий характер и не учитывают специфику конкретных горно-геологических условий, изменяющихся режимов нагружения, применяемых смазочных материалов и реализованных гидравлических схем.

В рамках решения локальных задач по устранению отказов элементов систем АЦСС, ремонтные службы ГОКов komponуют гидравлические схемы элементами из имеющихся на складе в наличии без учета проектных решений и изменения распределения смазочного материала между парами трения. Кроме того, изменение конфигурации и настроек систем АЦСС могут корректироваться в процессе эксплуатации в ответ на использование смазочных материалов более низкого качества, чем рекомендованные разработчиком экскаватора и системы АЦСС.

Параметры и настройки системы, а именно интервалы и объемы подачи смазочного материала на практике горнодобывающих предприятий оцениваются субъективно из-за отсутствия рекомендаций для фактических условий и режимов эксплуатации, что приводит к нерациональному процессу смазывания [5, 6].

Объем подачи смазочного материала в пару трения является совокупностью факторов: конструктивной реализации гидравлической схемы, настройки ее компонентов и установленного режима работы и паузы головного насоса АЦСС. Широкий диапазон между минимальными и максимальными возможными значениями объема подаваемого смазочного материала указывает на большой потенциал регулирования параметров АЦСС в зависимости от реальных условий эксплуатации.

Настройка АЦСС по максимальным значениям подачи смазочного материала с одной стороны повышает эффективность удаления продуктов изнашивания из пары трения, а с другой стороны влечет перерасход смазочного материала. При недостаточных параметрах смазывания возникает риск сухого трения и, как следствие, работы узла с высокой интенсивностью изнашивания [7-9]. Таким образом, актуальной задачей является разработка научно обоснованных алгоритм и методики настройки параметров автоматических централизованных систем смазки в зависимости от фактических условий эксплуатации и реализованных гидравлических схем.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов использовались: проектная документация ООО «Техпартнер» на системы АЦСС, эксплуатационная документация на электрические карьерные экскаваторы ООО УК «УЗТМ-КАРТЭКС» [10], а также данные эксплуатации карьерных экскаваторов на железорудных горнодобывающих предприятиях, в том числе фактические параметры настройки систем АЦСС [11].

Принцип работы автоматической централизованной системы смазки заключается в дозированной подаче смазочного материала к парам трения, при этом объем подачи регулируется конфигурацией и настройкой системы. В автоматической централизованной системе смазывания карьерных экскаваторов применяются два основных типа распределителей. Основные распределители основной насосной станции, как правило, представляют собой двухлинейные устройства типов VSG и VSL. Вспомогательные и каскадные линии оснащаются прогрессивными распределителями типа SSV [12].

С функциональной точки зрения данные устройства можно разделить на модели с фиксированным объемом подачи и с регулируемым. Регулировка объема в двухлинейных распределителях (модификации VSL-KR, VSG-KR) осуществляется с помощью регулировочных штифтов или путем объединения выпускных каналов. В прогрессивных распределителях типа SSV регулировка производится установкой конусных клапанов в соответствующие каналы подачи смазочного материала, что позволяет блокировать отдельные выпуски и перенаправлять поток смазки и объединением выпусков.

Результаты

Объем подачи смазочного материала в двухлинейных регулируемых распределителях регулируется регулировочным винтом. Количеством его оборотов при настройке изменяется геометрический объем рабочей полости распределителя, предназначенной для дозирования единичной порции смазочного материала за один цикл работы насоса (рис. 1). Этот способ регулирования позволяет изменять настройки в процессе эксплуатации и является недостаточно точным. Альтернативным является использование стандартных типоразмеров регулировочных штифтов. Такое решение позволяет минимизировать влияния человеческого фактора при эксплуатации.

Оба способа регулирования объема подачи смазочного материала являются ключевым параметром адаптации систем к фактическим условиям эксплуатации, как и время работы/паузы насоса. При этом, на практике при эксплуатации управлением процессом смазывания посредством регулирующих штифтом не пользуются, в подавляющем большинстве случаев (порядка 90%), регулировочные винты настроены на максимальный объем подачи смазочного материала.

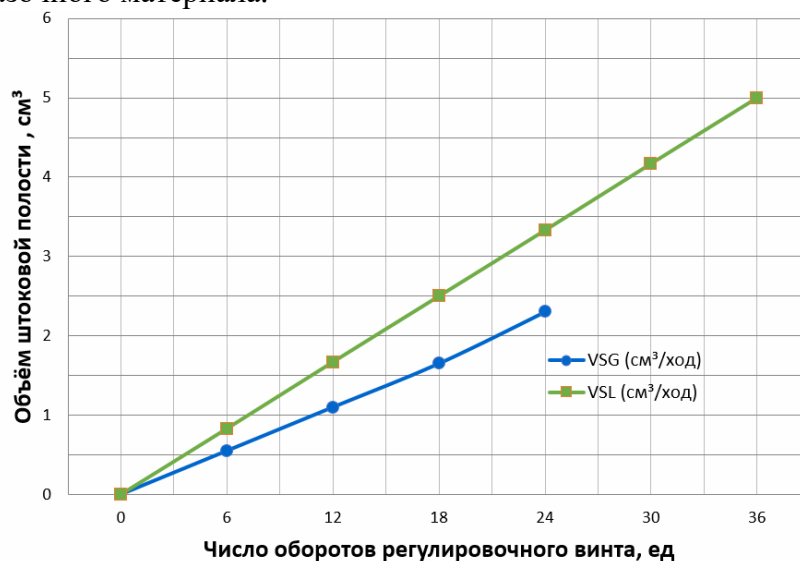


Рис. 1. Изменение объема штоковой полости от оборотов регулировочных винтов распределителей типа VSL и VSG

Для определения фактических объемов подачи смазочного материала в зависимости от конфигурации централизованной системы смазывания разработана методика оценки объема подачи смазочного материала в точку смазки за заданный период эксплуатации. Объем СМ, подаваемый в пару трения определяется по выражению

$$V_n = \frac{t_3}{t_p + t_n} V_{пу} n_6, \text{ см}^3, \quad (1)$$

где t_3 – интервал эксплуатации, мин; t_p – время работы головного насоса, мин; t_n – время паузы головного насоса, мин; $V_{пу}$ – объем рабочей полости распределителя, см³; n_6 – количество выпусков распределителя, подающих в одну точку, шт.

Параметры работы АЦСС выставляются в минутах. Таким образом, на практике применяются единицы измерения, отличные от стандартных.

Время работы головного насоса (t_p) определяется временем, необходимым, для достижения давления, обеспечивающего срабатывание всех двухлинейных распределителей системы. Определяется эмпирически по срабатыванию наиболее удаленного от головного насоса распределителя, учитывая потери давления по магистральному трубопроводу системы. Время паузы насоса (t_n) является регулировочным параметром для управления количеством циклов включения системы за интервал эксплуатации (t_s). По результатам анализа эксплуатационных данных работы карьерных экскаваторов большой единичной мощности на железорудных карьерах России усредненные значения времени работы головного насоса – 2 минуты, времени паузы – 6 минут. Время паузы насоса при этом зачастую подбирается исходя из месячного объема доступного смазочного материала, предоставляемого службами снабжения, не учитывая интенсивность изнашивания пар трения и условия эксплуатации машины.

Согласно техническим характеристикам двухлинейных распределителей (Lincoln Industrial) объемы их рабочей полости, приведены в таблице 1.

Табл. 1. Объем рабочей полости распределителей

Тип распределителя	Рабочей объем полости распределителя, см ³
VSL	2,5
VSG	5,5
VSL-KR	0-5,5
VSG-KR	0-2,5

Определение объема рабочей полости в прогрессивных распределителях типа SSV требует учета конструктивных особенностей, а именно – возможности установки конусных клапанов в выходные каналы подачи смазочного материала. Управление объемом подачи смазочного материала реализуется изменением количества последовательно заглушенных выходов, расположенных до канала, используемого для подачи смазочного материала в пару трения. Таким образом, объем единичной порции смазочного материала определяется базовой геометрией плунжерной пары (табл. 2), конфигурацией распределителя, объединением его выпусков, наличием и количеством заглушенных выходов, что напрямую влияет на точность дозирования, и позволяет минимизировать влияние человеческого фактора на настройки параметров систем смазывания.

Табл. 2. Объем рабочей полости прогрессивных распределителей

Тип распределителя	Рабочей объем полости, см ³
SSV без заглушек	0,2
SSV с установленными заглушками	$0,2(n_z + 1)$, где n_z – сумма последовательно заглушенных выходов до используемого выхода

Учитывая вариативность конфигурации и настроечных параметров системы АЦСС, разработан алгоритм оценки объемов подачи смазочного материала (рис. 2).

Оценка объема смазочного материала подаваемого в пару трения проведена на примере узлов рабочего оборудования экскаватора ЭКГ-20К. Интервал эксплуатации соответствует времени рабочей смены (12 ч). Время работы и паузы насоса приняты согласно усредненным значениям статистических данных железорудных карьеров России. Компоновка гидравлической схемы системы АЦСС принята в соответствии с проектной документацией. Результаты оценки объема подачи смазочного материала в пары трения узлов рабочего оборудования экскаватора ЭКГ-20К приведены таблице 3.

На примере экскаватора ЭКГ-20К показано, что диапазон между минимальным и максимальным расчётным объёмом подачи в отдельные узлы достигает соотношения 1:4. Широкий диапазон регулирования объема подаваемого смазочного материала указывает на большой потенциал адаптации машины к фактическим условиям и режимам эксплуатации.

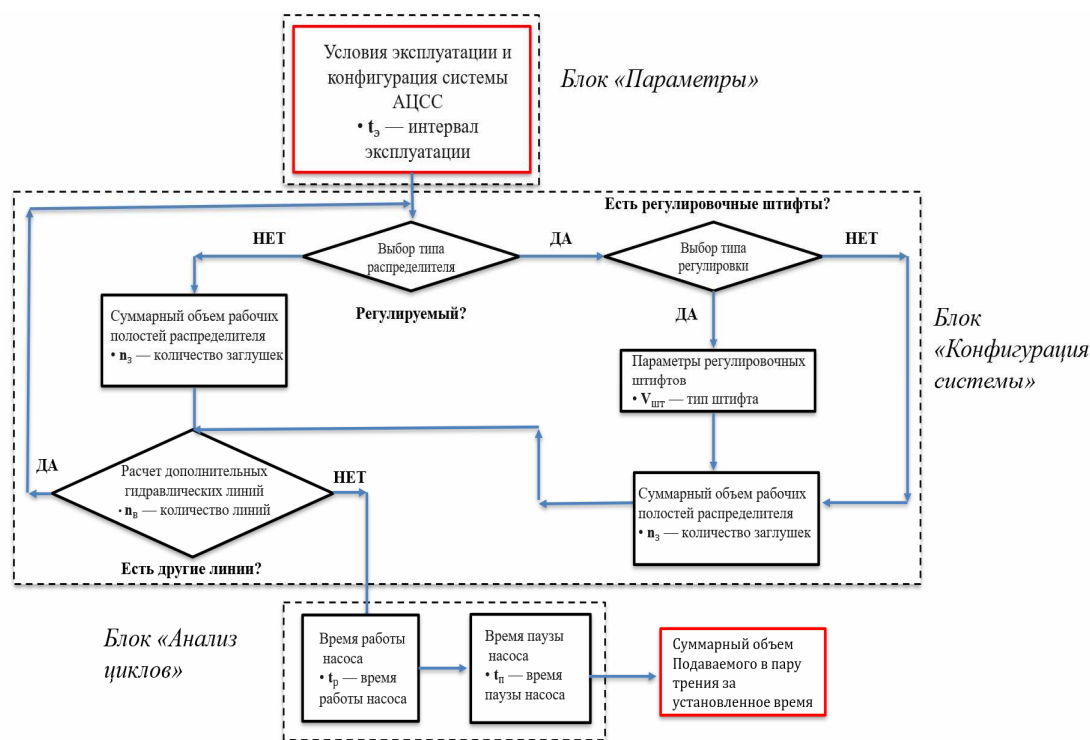


Рис. 2. Алгоритм оценки объема подаваемого смазочного материала двухлинейной АЦСС

Табл. 3. Объем подачи смазочного материала в узлы рабочего оборудования экскаватора ЭКГ-20К за 12 ч эксплуатации

Наименование узла машины ЭКГ-20К	Тип распределителя и количество точек смазывания (шт.)			Объем подачи в точку, см ³	
	SSV	VSG	VSL	Min	Max
Подшипники головных блоков	—	4	—	49,5	198
Опоры седлового подшипника	—	—	2	112,5	450
Ролики седлового подшипника	4	—	—	72	72

Заключение

Разработан алгоритм и методика оценки объёмов подачи густого смазочного материала автоматической централизованной системой смазки в узлы трения электрического карьерного экскаватора. Предложенный подход учитывает конструктивные особенности гидравлических схем (двухлинейные распределители VSG/VSL и прогрессивные SSV), а также временные параметры работы и паузы насоса.

Установлено, что в реальных условиях эксплуатации конфигурация АЦСС часто отклоняется от проектной: заменяются компоненты, изменяются гидравлические линии, настройки выполняются субъективно. В 90 % случаев регулировки устанавливаются на максимальный объём подачи, что исключает адаптацию системы к конкретным условиям и приводит либо к перерасходу смазки, либо к недостаточному смазыванию.

Разработанная методика позволяет перейти от эмпирической настройки к объективному регулированию режимов подачи смазочного материала.

Практическая значимость работы – создание основы для адаптивных регламентов технического обслуживания, снижения эксплуатационных затрат и повышения ресурса узлов трения.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на установление корреляций между расчётными параметрами смазывания и фактической интенсивностью изнашивания пар трения.

Список литературы

1. 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.org/10.18503/1995-2732-2022-20-3-54-63.
2. Князькина В.И., Иванов С.Л. Акустический сигнал как показатель деградиционных процессов при техническом обслуживании горных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №6-2. – С. 223-236. – doi.org/10.25018/0236_1493_2022_62_0_223.
3. Агагена А., Репкина К.С., Михайлов А.В. Корректировка регламента технического обслуживания карьерного гидравлического экскаватора на руднике Бухадра // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2024. – №24. – С. 146-151. – doi.org/10.26160/2658-3305-2024-24-146-151.
4. Хамидов О.У., Шибанов Д.А. Техническое обслуживание и ремонт карьерных экскаваторов по регламенту с учетом фактических условий и режимов их эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – №12-3. – С. 152-167. – doi.org/10.25018/0236_1493_2025_123_0_152.
5. Khonsari M.M., Ghatreh Samani S., Akbarzadeh S. On the running-in nature of metallic tribo-components: A review // Wear. 2021, vol. 474-475, p. 203871. doi.org/10.1016/j.wear.2021.203871.
6. Грабский А.А., Сергеев В.Ю., Грабская Е.П. Обоснование выбора стратегии технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов // Уголь. – 2021. – №2. – С. 14-17. – doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-14-17.
7. Войнов К.Н. Обобщения в трибологии. – СПб.: ИПА вузов, 2024. – 250 с.
8. Иванов С.Л., Дудко П.П., Дмитриев Г.Ю., Подхалюзин С.П. Автоматические централизованные системы смазки. Опыт применения, проблемы и перспективы использования // Записки Горного института. – 2008. – Т. 178. – С. 22-26.
9. Михайлов А.В., Казаков Ю.А., Соловьев И.В. Анализ элементов блочной технологии поверхностной выемки органогенного сырья // Горная промышленность. – 2025. – №1. – С. 129-136. – doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-129-136.
10. Аникин К.В. Перспективы применения в России экскаваторов с объемом ковша 20 м³ и более // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – №12. – С. 365-369.
11. Комиссаров А.П., Лагунова Ю.А., Набиуллин Р.Ш., Хорошавин С.А. Цифровая модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием карьерного экскаватора // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №4. – С. 156-168. – doi.org/10.25018/0236-1493-2022-4-0-156.
12. Колпаков В.О., Шибанов Д.А., Селезнев М.С., Хамидов О.У. Анализ функционирования систем централизованного смазывания узлов карьерных экскаваторов // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. – 2025. – №34. – С. 122-128. – doi.org/10.26160/2658-3305-2025-34-122-128.

References

1. Kuznetsov D.V., Kosolapov A.I. Methodology for justifying the selection of mining and conveyor equipment for ore quarries // Bulletin of Nosov Magnitogorsk State Technical University. 2022, vol. 20, no. 3, pp. 54-63. doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-3-54-63.
2. Knyazkina V.I., Ivanov S.L. Acoustic signal as an indicator of degradation processes during maintenance of mining machines // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2022, no. 6-2, pp. 223-236. doi.org/10.25018/0236_1493_2022_62_0_223.
3. Agagena A., Repkina K.S., Mikhailov A.V. Adjustment of the maintenance schedule for a quarry hydraulic excavator at the Boukhadra mine // Transport, Mining and Construction Machinery: Science and Production. 2024, no. 24, pp. 146-151. doi.org/10.26160/2658-3305-2024-24-146-151.
4. Khamidov O.U., Shibbanov D.A. Regulated maintenance and repair of quarry excavators considering real-world conditions and operating modes // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2025, no. 12-3, pp. 152-167. doi.org/10.25018/0236_1493_2025_123_0_152.
5. Khonsari M.M., Ghatreh Samani S., Akbarzadeh S. On the running-in nature of metallic tribo-components: A review // Wear. 2021, vol. 474-475, p. 203871. doi.org/10.1016/j.wear.2021.203871.
6. Grabsky A.A., Sergeev V.Yu., Grabskaya E.P. Rationale for choosing a strategy for maintenance and repair of quarry excavators // Coal. 2021, no. 2, pp. 14-17. doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-14-17.
7. Voinov K.N. Generalizations in Tribology. – SPb.: IPA of Higher Educational Institutions, 2024. – 250 p.
8. Ivanov S.L., Dudko P.P., Dmitriev G.Yu., Podkhaluzin S.P. Automatic centralized lubrication systems: Experience, problems and prospects of application // Journal of Mining Institute. 2008, vol. 178, pp. 22-26.
9. Mikhailov A.V., Kazakov Yu.A., Soloviev I.V. Analysis of block technology elements for surface excavation of organogenic material // Russian Mining Industry. 2025, no. 1, pp. 129-136. doi.org/10.30686/1609-9192-2025-1-129-136.
10. Anikin K.V. Prospects for the use of excavators with a bucket volume of 20 m³ and more in Russia // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2009, no. 12, pp. 365-369.

11. Komissarov A.P., Lagunova Yu.A., Nabiullin R.Sh., Khoroshavin S.A. Digital model of the rock excavation process by the working equipment of a quarry excavator // Mining Informational and Analytical Bulletin. 2022, no. 4, pp. 156-168. doi.org/10.25018/0236-1493-2022-4-0-156.
12. Kolpakov V.O., Shibarov D.A., Seleznev M.S., Khamidov O.U. Analysis of the functioning of centralized lubrication systems for quarry excavator components // Transport, Mining and Construction Machinery: Science and Production. 2025, no. 34, pp. 122-128. doi.org/10.26160/2658-3305-2025-34-122-128.

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	Shibanov 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
kolpakoffon@yandex.ru	

Получена 22.05.2026