



Совершенствование систем смазывания дробильно-сортировочных комплексов с учетом их условий эксплуатации и архитектуры

Е.С. Иванова ✉, С.Л. Иванов, В.А. Плащинский, Н.А. Шевченко

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
✉ s255079@stud.spmi.ru

Резюме: Дробильно-сортировочные комплексы представляют собой многомашинные технологические системы, надёжность которых определяется совместной работоспособностью дробилок, грохотов, питателей, конвейерных линий, перегрузочных узлов и вспомогательных приводов. В этих условиях система смазывания должна рассматриваться как самостоятельная подсистема обеспечения надёжности комплекса, а не совокупность разрозненных устройств обслуживания отдельных машин. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования смазочных систем дробильно-сортировочных комплексов в условиях развития оборудования, цифровизации и усложнения технологической архитектуры. Цель работы заключается в разработке классификационного подхода к выбору и совершенствованию систем смазывания дробильно-сортировочных комплексов с учётом степени стационарности, состава оборудования и жёсткости условий эксплуатации. В качестве методической основы использованы сравнительный, классификационный и инженерно-аналитический подходы. Результаты позволили сформировать формализованную классификацию дробильно-сортировочных комплексов по условиям организации смазывания, определить приоритетность смазываемых узлов и предложить рекомендации по выбору рациональной архитектуры смазочных систем для различных классов комплексов. Научная новизна состоит в разработке классификационного подхода к проектированию смазочных систем дробильно-сортировочных комплексов как элемента общей архитектуры надёжности, а практическая значимость – в возможности прямого применения предложенных решений при проектировании и модернизации комплексов различного типа.

Ключевые слова: дробильно-сортировочный комплекс, система смазывания, централизованная смазочная система, смазочный материал, мобильная дробилка, грохот, конвейерная линия

Для цитирования: Иванова Е.С., Иванов С.Л., Плащинский В.А., Шевченко Н.А. Совершенствование систем смазывания дробильно-сортировочных комплексов с учетом их условий эксплуатации и архитектуры. *Горная промышленность*. 2026;(4S):12–18. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-12-18>

Enhancement of lubricating systems for crushing and screening complexes with account of their operation and architecture

E.S. Ivanova ✉, S.L. Ivanov, V.A. Plashchinsky, N.A. Shevchenko

Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation
✉ s255079@stud.spmi.ru

Abstract: Crushing and screening complexes are multi-machine technological systems which reliability is defined by the combined performance of crushers, screens, feeders, conveyor lines, transfer units, and auxiliary drives. These conditions require lubrication system to be regarded as an independent subsystem that supports reliability of the whole complex rather than a set of separate service devices for individual machines. The relevance of the study is explained by the need to improve lubrication systems of crushing and screening complexes under conditions of equipment development, digitalization, and increasing technological complexity. The purpose of the work is to develop a classification-based approach to selecting and improving lubrication systems for crushing and screening complexes that would take into account their degree of stationarity, equipment composition, and severity of operating conditions. The methodological framework of the study includes the comparative, classification, and engineering-analytical approaches. The results made it possible to develop an organized classification of crushing and screening complexes based on their lubrication conditions, to identify priority of the units lubrication, and to propose recommendations for choosing a rational lubrication system architecture for different classes of the complexes. The scientific novelty lies in the development of a classification-based approach to designing lubrication systems for crushing



and screening complexes as an element of the overall reliability architecture. The practical significance consists in the possibility to directly apply the proposed solutions in the design and modernization of various types of complexes.

Keywords: crushing and screening complex, lubrication system, centralized lubrication system, lubricant, mobile crusher, screen, conveyor line

For citation: Ivanova E.S., Ivanov S.L., Plashchinsky V.A., Shevchenko N.A. Enhancement of lubricating systems for crushing and screening complexes with account of their operation and architecture. *Russian Mining Industry*. 2026;(4S):12–18. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-4S-12-18>

Введение

Дробильно-сортировочный комплекс (ДСК) представляет собой совокупность взаимосвязанных машин и устройств, обеспечивающих дробление, сортировку, транспортирование и распределение горной массы, нерудных материалов либо техногенного сырья [1–3]. В современной практике применяются стационарные, полустационарные, полумобильные, передвижные и мобильные ДСК, различающиеся компоновкой, составом оборудования и условиями эксплуатации [4–6]. Именно тип комплекса определяет допустимую архитектуру смазочной системы: доступное пространство для размещения станций, длину и защищённость магистралей, возможности фильтрации и охлаждения, уровень автоматизации и доступность обслуживания [7–9].

Современное развитие дробильно-сортировочного оборудования связано не только с ростом производительности, но и с интеграцией машин в цифровые технологические цепочки, повышением энергоэффективности и снижением совокупных эксплуатационных затрат, в том числе в схемах ИПСС как альтернативы чисто автомобильному транспорту при углублении карьеров и ужесточении экологических требований [10–12]. В этих условиях смазочная система должна изначально проектироваться как элемент общей архитектуры надёжности ДСК, поскольку отказ критически нагруженного, но формально второстепенного по отношению к дробилке узла способен остановить весь комплекс [13].

Смазывание в ДСК при этом должно охватывать не только дробилки, но и редукторные приводы, подшипниковые узлы грохотов и питателей, роlikоопоры и барабаны конвейеров, перегрузочные участки. При изложении материала используется терминология отечественной нормативно-технической практики: смазывание рассматривается как процесс подачи смазочного материала к узлам трения, а смазочная система – как совокупность устройств хранения, подготовки, подачи и распределения смазочного материала. Это разграничение принципиально важно для ДСК, где одновременно применяются циркуляционные масляные системы, централизованная подача пластичной смазки и комбинированные контуры группового обслуживания, и где выбор архитектуры смазочной системы должен осуществляться не для отдельной машины, а для комплекса в целом.

Материалы и методы

Методической основой работы послужили сравнительный, классификационный и инженерно-аналитический подходы. Фактическая база включает публикации по си-

стемам смазывания дробильно-размольного оборудования, централизованным смазочным системам, опорным узлам дробилок, полумобильным установкам ИПСС и передвижным комплексам на карьерах нерудных материалов, а также материалы по оборудованию Metso, Sandvik, Kleemann, Terex Finlay и PROMEK PCS [14–16] и публикации производителей, отражающие цифровизацию управления, повышение энергоэффективности и усложнение архитектуры мобильных и полумобильных машин.

Доступный массив источников не содержит унифицированной межзаводской статистики отказов смазочных систем ДСК, достаточной для построения обобщённой статистической модели. Поэтому приоритетность узлов и решений определялась на основе инженерной логики, учитывающей последствия отказа, уровень нагруженности, сложность обеспечения стабильного смазывания и влияние узла на непрерывность технологического потока [17; 18]. Такой подход не подменяет статистику конкретного предприятия, но позволяет сформировать корректную структуру результатов и обоснованные инженерные выводы.

Анализ современного состояния ДСК как объекта смазывания показывает, что ключевыми параметрами становятся уровень автоматизации, сопрягаемость машин в линии, энергопотребление на тонну продукции, доступность обслуживания, онлайн-диагностика и управляемость потоками материала [19–21]. Для задачи смазывания это означает переход от проектирования отдельного узла трения к проектированию его места в цифровой, энергетической и сервисной архитектуре комплекса. Следовательно, современная смазочная система должна обеспечивать не только подачу масла или пластичной смазки, но и устойчивость к вибрациям и загрязнениям, контролепригодность и снижение вероятности ошибок обслуживания.

Результаты и их обсуждение

Исходной основой выбора смазочной системы является классификация ДСК по степени стационарности и жесткости условий смазывания. По степени благоприятности условий комплексы образуют последовательность: стационарные → полустационарные и полумобильные → передвижные → мобильные гусеничные, что отражает совокупность факторов, определяющих возможности построения надёжной и обслуживаемой системы смазывания. Для стационарных ДСК характерны наиболее благоприятные условия: развитая инфраструктура, наличие защищённых площадок, возможность размещения крупных баков, резервирования насосов и организации развитой фильтрации, охлаждения и централизованного контроля пара-



Таблица 1
Классы ДСК и требования к смазыванию

Table 1
Classes of crushing and screening complexes and their lubrication requirements

Класс ДСК	Условия эксплуатации	Тип смазочной системы	Контролируемые параметры	Приоритетные узлы
Стационарный	Стабильная среда, развитая инфраструктура, защищённые зоны, высокая доступность обслуживания	Вынесенные циркуляционные масляные станции для главных узлов, централизованная групповая система для распределённых точек	Давление, температура, расход, уровень масла, загрязнённость, наличие воды, состояние фильтров	Главные опоры дробилок, редукторы, подшипники грохотов, барабаны и роликоопоры конвейеров
Полустационарный / полумобильный	Частично развитая инфраструктура, блочно-модульная компоновка, наружное размещение части узлов, умеренные климатические и пылевые воздействия	Модульные станции высокой степени готовности, локальные масляные контуры для дробилки и групповые централизованные контуры для ближайших узлов	Давление, температура, расход, уровень загрязнённости, наличие влаги, факт прохождения цикла смазывания	Опоры дробилки, питатели, грохоты, перегрузочные узлы, ближайшие конвейерные элементы
Передвижной	Открытая среда, частая перестановка, сильное влияние осадков и пыли, ограниченная сервисная доступность, наружное размещение оборудования	Компактные модульно-групповые станции с защищёнными магистралями и повышенной ремонтопригодностью	Давление, температура, состояние линий подачи, факт дозирования, наличие утечек, загрязнённость смазки	Подшипники дробилок, грохотов и питателей, перегрузочные узлы, роликоопоры, натяжные устройства
Мобильный гусеничный	Высокая вибронагруженность, ограниченное пространство, сложный сервисный доступ, сильное влияние климата и загрязнений	Короткие защищённые магистрали, встроенные компактные блоки, централизованная автоматическая подача с интеграцией в систему контроля машины	Давление, температура, цикличность подачи, предупреждения об отклонениях, состояние смазки, сервисные сообщения оператору	Главные опоры дробилки, роторные узлы, подшипники грохотов, шарниры, труднодоступные точки, критические приводы
IPCC-комплекс	Крупномасштабная карьерная система, высокая роль непрерывности потока, интеграция дробления и конвейерного транспорта, высокая цена простоя	Модульные диагностируемые станции с локальными контурами для основных узлов и централизованным мониторингом технологически связанных участков	Давление, температура, расход, чистота масла, содержание воды, состояние фильтров, предупреждение отказов, связь с диспетчеризацией	Главные опоры дробилки, приводы, перегрузочные пункты, конвейерные барабаны и роликоопоры критических участков

метров. Полустационарные и полумобильные комплексы, включая карьерные дробильно-перегрузочные установки в схемах IPCC, наследуют часть этих преимуществ, но требуют большей компактности, модульности и защищённости магистралей. Передвижные комплексы на колесных и платформенных шасси функционируют в открытой среде, отличаются частой перестановкой, высокой чувствительностью к загрязнению и погодным воздействиям при ограниченной свободе компоновки [22; 23]. Наиболее жёсткие условия смазывания характерны для мобильных гусеничных ДСК из-за высокой вибронагруженности, ограниченного сервисного пространства и сложного доступа к узлам.

Систематизация ДСК по условиям эксплуатации позволяет увязать архитектуру смазочной системы с реальной

средой работы комплекса, а не с отдельной машиной, что принципиально важно для многомашинных линий, где одинаковые по назначению узлы могут работать в существенно различающихся условиях по запылённости, влажности, вибронагруженности и сервисной доступности. Предложенная классификация фиксирует ключевые различия по среде эксплуатации, типу смазочной системы, набору контролируемых параметров и приоритетным узлам; соответствующие классы ДСК и требования к их смазыванию представлены в табл. 1.

Применительно к многомашинным комплексам целесообразно выделять три основных класса смазочных систем: индивидуальные локальные, централизованные и комбинированные модульно-групповые. Индивидуальные



локальные системы предназначены для тяжелонагруженных опор скольжения конусных дробилок, крупных редукторов и других узлов, требующих точного поддержания давления, температуры, расхода и чистоты масла [23–25], тогда как централизованные системы подачи ориентированы на многочисленные распределённые точки смазывания (подшипники грохотов, барабанов, роlikоопоры, шарниры и периферийные механизмы) и позволяют снизить влияние человеческого фактора и пропуск точек смазывания. Наиболее рациональными для современных ДСК являются комбинированные схемы, в которых локальные масляные контуры обслуживают наиболее чувствительные и нагруженные узлы, а групповые централизованные контуры обеспечивают смазывание оборудования технологической линии [26–28].

Анализ приоритетности смазываемых узлов показывает, что она должна определяться не только интенсивностью изнашивания, но и последствиями отказа для работоспособности всего комплекса [29; 30]. К первой группе относятся главные опорные узлы дробилок и опоры главных приводов, ко второй – подшипниковые узлы грохотов и питателей, к третьей – барабаны, роlikоопоры, натяжные устройства и другие критические элементы конвейерных линий. Такая приоритизация демонстрирует, что сосредоточение внимания исключительно на главном дезинтеграционном оборудовании – дробилке – не обеспечивает требуемого уровня надёжности многомашинного ДСК.

Исследование показывает, что потеря работоспособности смазочных систем обусловлена совокупностью внешних и внутренних факторов. К ключевым относятся загрязнение смазочного материала твёрдыми частицами в условиях высокой запылённости, попадание воды, неблагоприятные климатические воздействия, нарушения температурно-вязкостного режима, вибрации, ошибки обслуживания, применение несоответствующих смазочных материалов и нарушение периодичности смазывания [31–33]. Чем более рассредоточен комплекс и чем больше число точек смазывания, тем выше вероятность отказов, связанных с человеческим фактором, что является аргументом в пользу автоматизации, централизации и внедрения обратных связей контроля завершённости цикла.

Для стационарных ДСК наиболее рациональны вынесенные смазочные станции с резервированием, развитой фильтрацией, охлаждением и централизованным контролем параметров. Для полустационарных и полумобильных комплексов, включая ИРСС-системы, целесообразны модульные станции высокой степени готовности, максимально приближённые к основным потребителям смазочного материала, сочетающие локальные масляные контуры для тяжелонагруженных опор дробилки с групповыми централизованными системами для питателей, ближайших грохотов, перегрузочных устройств и конвейерных элементов [34]. Для передвижных комплексов приоритетны компактные модульно-групповые станции с защищёнными магистралями и повышенной ремонтпригодностью, обеспечивающие быструю проверку работоспособности распределителей, насосов и линий подачи. Для мобильных гусеничных ДСК на первый план выходят короткие и хорошо защищённые смазочные магистрали, виброустойчивые блоки и интеграция с системой контроля машины, минимизирующие число труднодоступных точек обслуживания [35].

Совершенствование смазочных систем всё в большей степени связано с цифровым контролем их фактически-

го состояния и режима работы. Переход к обслуживанию по состоянию предполагает контроль давления, температуры, расхода, уровня загрязнённости, наличия воды, состояния фильтрующих элементов и факта прохождения цикла смазывания, а также регистрацию отклонений в работе распределителей и насосных блоков. Для мобильных установок новое поколение цифровых интерфейсов подтверждает устойчивую тенденцию интеграции эксплуатационного контроля в архитектуру машины, что снижает зависимость надёжности комплекса от пропусков и ошибок обслуживания и облегчает переход от обслуживания отдельных машин к управлению надёжностью технологической цепи в целом.

Полученные результаты показывают, что слабым местом традиционных подходов к смазыванию ДСК является их агрегатный, а не комплексный характер. Либо проектируется локальная маслостанция только для дробилки, либо весь комплекс обслуживается набором разрозненных станций, что повышает затраты и вероятность ошибок персонала. Оба подхода недостаточно соответствуют современной структуре ДСК как многомашинной и цифровизируемой системы. Наиболее рациональной представляется многоуровневая архитектура, в которой тяжелонагруженные опоры дробилок обслуживаются локальными циркуляционными масляными системами, а распределённые точки грохотов, питателей и конвейерных линий объединяются в централизованные групповые контуры. Для стационарных ДСК такая архитектура может строиться на базе вынесенных станций с резервированием, развитой фильтрацией и охлаждением; для полумобильных комплексов, включая ИРСС-схемы, требуются модульные станции заводской готовности, а для передвижных и мобильных ДСК – компактные диагностируемые блоки с укороченными магистралями и встроенным контролем параметров.

Принципиально важным является отказ от идеи отдельной смазочной станции на каждый вид оборудования. Для многомашинных ДСК более перспективно формирование модульно-групповых решений для типовых технологических связей, что позволяет уменьшить число станций, унифицировать обслуживание и повысить общую надёжность комплекса. Дальнейшее развитие должно быть связано с интеллектуализацией смазочных систем, их диагностируемостью и интеграцией в цифровую среду машины или комплекса.

Заключение

Из результатов проведённого исследования следует, что классификация дробильно-сортировочных комплексов по степени стационарности и условиям эксплуатации должна рассматриваться как исходная основа выбора архитектуры смазочной системы, поскольку именно она определяет доступность пространства, допустимую массу оборудования, длину и защищённость магистралей, а также возможности фильтрации, охлаждения, резервирования и контроля параметров. Смазывание при этом должно охватывать не только главные узлы дробилки, но и грохоты, питатели, конвейерные линии и перегрузочные устройства, что соответствует реальной структуре риска останова многомашинного комплекса. Наиболее рациональной для современных ДСК является комбинированная архитектура смазки, сочетающая локальные циркуляционные масляные контуры для тяжелонагруженных и ресурсопределяющих опор с централизованными групповыми системами для распределённых точек технологической



линии. Дальнейшее развитие смазочных систем должно включать конструктивные меры по повышению устойчивости к загрязнению и климатическим воздействиям, организационные меры по уменьшению влияния человеческого фактора, а также внедрение средств диагностики и цифрового мониторинга, обеспечивающих переход от

регламентного обслуживания отдельных машин к управлению надёжностью технологической цепи в целом и отвечающих тенденциям цифровизации и ужесточения требований к непрерывности работы горнотехнологических комплексов.

Список литературы / References

1. Osanloo M., Paricheh M. In-pit crushing and conveying technology in open-pit mining operations: a literature review and research agenda. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2020;34(6):430–457. <https://doi.org/10.1080/17480930.2019.1565054>
2. Муминов Р.О., Рузибаев А.Н., Жураев Н.Н., Равшанов Ж.Р., Кузиев Д.А. Разработка мероприятий по совершенствованию вращательно-падающего механизма бурового станка. *Уголь*. 2024;(1):94–99. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-94-99>
Muminov R.O., Ruzibaev A.N., Juraev N.N., Ravshanov J.R., Kuziev D.A. Development of measures to enhance the rotation and feed mechanism of a drill rig. *Ugol'*. 2024;(1):94–99. (In Russ.) <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2024-1-94-99>
3. Luo E., Zhang W., Zhang R., Liu Y., Liu X., Wang C. A novel energy saving operation strategy of multiparameter coupling coordinated speed regulation for crushing. *Annales de Chimie – Science des Matériaux* 2020;44(3):161–178. <https://doi.org/10.18280/acsm.440303>
4. Клементьева И.Н., Кузиев Д.А. Установление максимальной жесткости упругодемпфирующего устройства в механизме тяги драглайна. *Горный журнал*. 2021;(5):79–83. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.05.09>
Klementieva I.N., Kuziev D.A. Maximal stiffness of elastically damping device in traction of draglines. *Gornyi Zhurnal*. 2021;(5):79–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.05.09>
5. Жуковский Ю.Л., Королев Н.А., Малькова Я.М. Мониторинг состояния измельчения в барабанных мельницах по результирующему моменту на валу. *Записки Горного института*. 2022;256:686–700. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.91>
Zhukovskiy Y.L., Korolev N.A., Malkova Y.M. Monitoring of grinding condition in drum mills based on resulting shaft torque. *Journal of Mining Institute*. 2022;256:686–700. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.91>
6. Reshetnyak S.N., Zotov V.V., Kuziev D.A., Kozlova O.Yu. Enhancing performance efficiency of electric consumers within surface infrastructure of coal mines. *Eurasian Mining*. 2025;(1):100–104. <https://doi.org/10.17580/em.2025.01.20>
7. Хрусталева И.Н., Любомудров С.А., Ларионова Т.А., Бровкина Я.Ю. Повышение эффективности технологической подготовки производства комплектующих для изготовления оборудования минерально-сырьевого комплекса. *Записки Горного института*. 2021;249:417–426. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.11>
Khrustaleva I.N., Lyubomudrov S.A., Larionova T.A., Brovkina Y.Y. Increasing the efficiency of technological preparation for the production of the manufacture components equipment for the mineral resource complex. *Journal of Mining Institute*. 2021;249:417–426. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.11>
8. Chanturia V.A., Dmitrak Yu.V., Kravtsov A.A., Zadkov D.A., Klyuev R.V., Kondratiev V.V. et al. Digital simulation of rock grinding process in ball mill. *Scientific Reports*. 2025;15:45653. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-30289-7>
9. Bolobov V.I., Chupin S.A., Le-Thanh B. Modeling impact fracture of rock by hydraulic hammer pick with regard to its bluntness. *Eurasian Mining*. 2022;(1):72–75. <https://doi.org/10.17580/em.2022.01.15>
10. Klevtsov V.A., Timofeev D.Yu., Khalimonenko A.D. Improved design of manufacturing processes for mining machines: basing concepts. *Russian Engineering Research*. 2023;43(11):1367–1375. <https://doi.org/10.3103/S1068798X23110151>
11. Shishlyannikov D., Zvonarev I., Rybin A., Zverev V., Ivanchenko A. Assessment of changes in the abrasiveness of solid particles in hydraulic mixtures pumped with ESPs. *Applied Sciences*. 2023;13(3):1885. <https://doi.org/10.3390/app13031885>
12. Peng H., Chen Y., Shangguan L., Cheng R., Li Y., Yang C. Multi-objective-based intelligent lubrication system performance evaluation technology for construction machinery. *Applied Sciences*. 2023;13(21):11768. <https://doi.org/10.3390/app132111768>
13. Eusufzai Z. IoT integration in intelligent lubrication systems for predictive maintenance and performance optimization in advanced manufacturing industries. *Journal of Sustainable Development and Policy*. 2023;2(4):140–173. <https://doi.org/10.63125/zybrmx69>



14. Piechowski M., Wyczółkowski R., Paszkowski W., Meller A. Improving the efficiency of greasing operations with the lubrication management support system – a case study. *IFAC-PapersOnLine*. 2024;58(8):228–233. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.08.125>
15. Ardah S., Profito F.J., Dini D. A comprehensive review and trends in lubrication modelling. *Advances in Colloid and Interface Science*. 2025;342:103492. <https://doi.org/10.1016/j.cis.2025.103492>
16. Ярмович Я.В. Обоснование ресурса смазочного материала дробильно-размольного оборудования. *Вестник СибАДИ*. 2016;(4):43–47. Режим доступа: <https://vestnik.sibadi.org/jour/article/view/341> (дата обращения: 23.03.2026).
Yarmovich Y.V. Mean life of the oil in the crushing and milling equipment. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2016;(4):43–47. (In Russ.) Available at: <https://vestnik.sibadi.org/jour/article/view/341> (accessed: 23.03.2026).
17. Omiyale B.O., Adebiyi K.A., Raheem W.A. Safety consideration in the development of improved stone jaw crusher for quarry operations. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2018;7(6):306–312. <https://doi.org/10.17577/IJERTV7IS060145>
18. Kuksenova L.I., Savenko V.I. Physicochemical mechanics of surface layers of an antifriction material operating in a surface-active lubricating medium. *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*. 2025;61(4):867–880. <https://doi.org/10.1134/S2070205125700716>
19. Wszelaczyński G., Capanidis D., Paszkowski M., Leśniewski T. Operating problems of lubrication of friction nodes in mining machines working in an aggressive environment. In: Stryczek J., Warzyńska U. (eds) *Advances in Hydraulic and Pneumatic Drives and Control 2020 (NSHP 2020)*, Trzebiezowice, October 21–23, 2020. Cham: Springer; 2021, pp. 228–238. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59509-8_20
20. Поляков С.А., Куксенова Л.И., Кулешова Е.М. Оценка показателей динамичности и вероятности заедания тяжело нагруженных сопряжений скольжения с различными смазочными материалами. *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2021;22(3):123–127.
Polyakov S.A., Kuksenova L.I., Kuleshova E.M. Evaluation of the dynamics and probability of jamming of heavy-loaded sliding pairings with different lubricants. *Assembling in Mechanical Engineering and Instrument-Making*. 2021;22(3):123–127. (In Russ.)
21. Mayorov S., Bochkov V.S., Lagunova Yu.A., Dmitriev V. Influence of construction of bearing assembly on the size characteristic of crushing by a jaw crusher. *E3S Web of Conferences*. 2020;177:03009. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017703009>
22. Стародубцев Б.И., Сидоров В.А. Визуальный метод контроля смазочного материала. Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. *Химическая технология и биотехнология*. 2023;(1):112–127.
Starodubtsev B.I., Sidorov V.A. Visual method of control of lubricant. *PNRPU Bulletin. Chemical Technology and Biotechnology*. 2023;(1):112–127. (In Russ.)
23. Vasilyeva N., Golyshevskaya U., Sniatkova A. Modeling and improving the efficiency of crushing equipment. *Symmetry*. 2023;15(7):1343. <https://doi.org/10.3390/sym15071343>
24. Shojaee Barjoei S., Rodionov V., Babkin R., Tumanov M., Shojaee Barjoei B. An integrated modified failure mode effects analysis Shannon entropy combined compromise solution approach to safety risk assessment in stone crusher unit of ceramic sector. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*. 2026;39(8):1976–1987. <https://doi.org/10.5829/ije.2026.39.08.15>
25. Xu X., Liao X., Zhou T., He Z., Hu H. Vibration-based identification of lubrication starved bearing using spectral centroid indicator combined with minimum entropy deconvolution. *Measurement*. 2024;226:114156. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.114156>
26. Zhang R., Yu Y., Ou S., Hu L., Cao B., Xie L., Ma B. Research on the stress response characteristics of the crank-connecting rod mechanism under lubrication failure and auxiliary equipment malfunction. *Engineering Failure Analysis*. 2025;179:109751. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2025.109751>
27. Ouyang L., Huang H., Yang X. An intelligent lubricating oil quality detector integrating computer technology. *Procedia Computer Science*. 2024;243:819–825. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.09.098>
28. Vilanova E., Mangas I., Estevez J., Estevan C., Sogorb M.A. Lubricating oils. In: Wexler P. (ed.) *Encyclopedia of Toxicology*. 4th ed. Elsevier Inc.; 2023. Vol. 5, pp. 977–986. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824315-2.01084-8>
29. Лях Д.Д., Худякова И.Н., Иванов С.Л. Обоснование параметров модуля формирования торфяного сырья и энергомассовых характеристик комплекса оборудования по добыче и переработке торфа. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2022;(6):93–108. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_6_0_93
Lyakh D.D., Khudyakova I.N., Ivanov S.L. Justification of peat block-making module parameters and mass/power characteristics for peat production machinery. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2022;(6):93–108. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_6_0_93



30. Sidorov V.A., Rybakov V.N. The sequence and features of solving the problem of determining the causes of the failure of the cylindrical gearbox of the screw press. In: *Practice oriented science: UAE – Russia – India: Proceedings of the International University Scientific Forum, September 19, 2023*. Part 1. Ufa: Infiniti; 2023, pp. 140–159.
31. Копосов П.В., Жуков И.А., Бойко В.С. Обзор кинематических схем дробильных машин с непрямолинейной формой щеки. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2023;(11-1):102–115. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_102
Koposov P.V., Zhukov I.A., Boiko V.S. Justification of the practical application of jaw crushing machines with a non-linear cheek shape. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2023;(11-1):102–115. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2023_111_0_102
32. 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):152–167. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_123_0_152
Khamidov O.U., Shibonov D.A. Regulated maintenance and repair of quarry excavators considering real-world conditions and operating modes. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2025;(12-3):152–167. (In Russ.) https://doi.org/10.25018/0236_1493_2025_123_0_152
33. Vasilyeva N., Golyshevskaya U., Sniatkova A. Modeling and Improving the Efficiency of Crushing Equipment. *Symmetry*. 2023;15(7):1343. <https://doi.org/10.3390/sym15071343>
34. Zhang L., Li X., Yu J. A review of fault prognostics in condition based maintenance. In: *Fang J., Wang Z. (eds) Proceedings 6th International Symposium on Instrumentation and Control Technology: Signal Analysis, Measurement Theory, Photo-Electronic Technology, and Artificial Intelligence, Beijing, October 13–15, 2006*. SPIE; 2006. Vol. 6357, Article 635752. <https://doi.org/10.1117/12.717514>
35. Krishnan S. A comparative review of the lubrication of bearings in wind turbines and spacecraft to address wind turbine bearing failures. *Tribology in Industry*. 2023;44(2):257–271. <https://doi.org/10.24874/ti.1452.02.23.05>

Информация об авторах

Иванова Евгения Сергеевна – аспирант кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0009-0001-9605-3662>; e-mail: s255079@stud.spmi.ru

Иванов Сергей Леонидович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>; e-mail: Ivanov_SL@pers.spmi.ru

Плащинский Вячеслав Алексеевич – кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроения, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0003-0326-4514>; e-mail: Plaschinskiy_VA@pers.spmi.ru

Шевченко Никита Анатольевич – магистрант кафедры транспорта и хранения нефти и газа, Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация; e-mail: s201431@stud.spmi.ru

Information about the authors

Evgeniya S. Ivanova – Postgraduate Student, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0009-0001-9605-3662>; e-mail: s255079@stud.spmi.ru

Sergey L. Ivanov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-7014-2464>; e-mail: Ivanov_SL@pers.spmi.ru

Vyacheslav A. Plashchinsky – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0003-0326-4514>; e-mail: Plaschinskiy_VA@pers.spmi.ru

Nikita A. Shevchenko – Master's Student of the Department of Oil and Gas Transportation and Storage, Empress Catherine II Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, Russian Federation; e-mail: s201431@stud.spmi.ru

Article info

Received: 22.05.2026

Revised: 29.07.2026

Accepted: 14.08.2026

Информация о статье

Поступила в редакцию: 22.05.2026

Поступила после рецензирования: 29.07.2026

Принята к публикации: 14.08.2026